This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

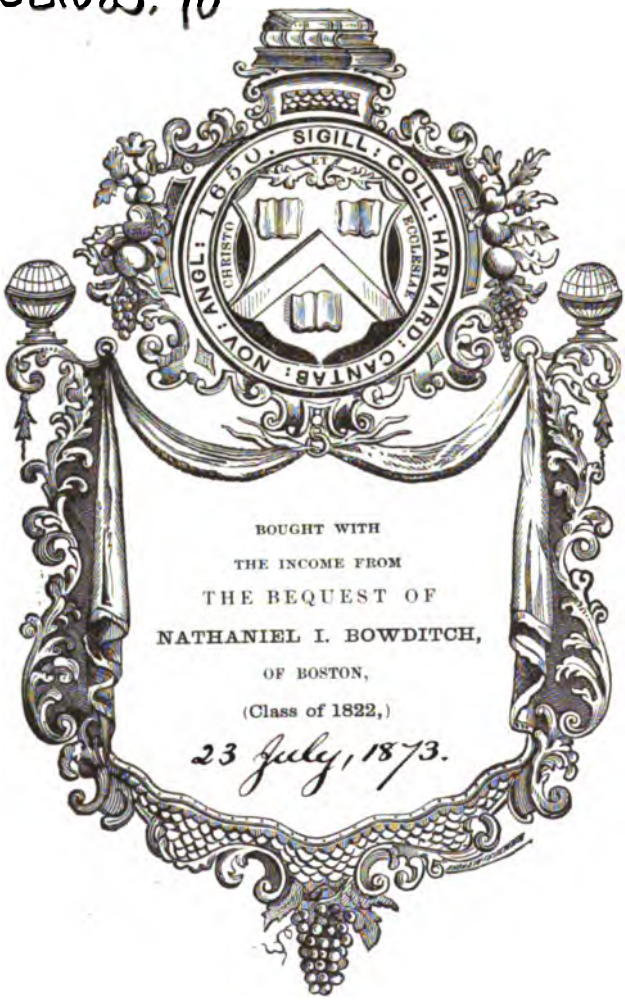
About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

WIDENER LIBRARY
HX GZUG I

Digitized by Google

Sci1085.70



BOUGHT WITH
THE INCOME FROM
THE BEQUEST OF
NATHANIEL I. BOWDITCH,
OF BOSTON,
(Class of 1822,)
23 July, 1873.

SCIENCE CENTER LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REPERTORIUM

FÜR

EXPERIMENTAL-PHYSIK,

FÜR

PHYSIKALISCHE TECHNIK,

MATHEMATISCHE & ASTRONOMISCHE INSTRUMENTENKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. PH. CARL,

PROFESSOR DER PHYSIK AN DEN KGL. BAYER. MILITÄR-BILDUNGS-ANSTALTEN UND INHABER EINER PHYSIKALISCHEN ANSTALT IN MÜNCHEN.

ACHTER BAND

(DES „REPERTORIUMS FÜR PHYSIKALISCHE TECHNIK &c.")

TEXT.

MÜNCHEN, 1872.

VERLAG VON R. OLDENBOURG.

Digitized by Google

Sci1085.70

1873, July 23.
Bowditch Fund.

(VIII^er Bd. Text & Atlas.)

Digitized by Google

INHALT.

Seite

Ueber die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft. Von M. A. Regnault. (Tafel VI) 1

Zur Frage über die Wirkung farbigen Lichtes auf die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen. Von E. Lommel in Erlangen 8

Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen. Von Victor v. Lang 20

Compensationsgalvanometer für Messungen nach absolutem Maasse. Von M. Th. Edelmann. (Tafel IV u. V) 26

Das kugelförmige Electrodynamometer. Von O. Frölich 37

Kleinere Mittheilungen:

Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones. Von Dr. R. Radau in Paris 46

Apparat zur Demonstration der Wirkungsweise des Blitzableiters. Von Krumme. (Tafel VI) 48

Bequeme Einrichtung schwimmender galvanischer Ströme. Von Ph. Carl. (Tafel III) 49

Ein grosser Funkeninductor. (Tafel VI) 49

Dynamoëlectrische Maschine für Vorlesungszwecke. (Tafel I bis III) 51

Ruhmkorff's Ozon-Erzeugungs-Apparat. (Tafel VI) 53

Ein Riesen-Electromagnet 53

Ein Schul-Laboratorium für Physik 54

Neues Weingeist-Thermometer. Von Regnault 54

Ein Versuch zum Beweise, dass die Electricität sich auf der Oberfläche der Körper aufhält. Von A. Terquem 59

Uebersichtliche Zusammenstellung aller in diesem Jahrhunderte im Adriatischen Golfe ausgeführten magnetischen Beobachtungen. Von Jos. Schellander 60

Monatmittel der magnetischen Declination und Horizontal-Intensität für Wien im Jahre 1869 62

Emsmann. Collector für Reibungs-Electrisirmaschinen 63

Maschine für Glastheilungen Von Stanistreet. (Tafel III) . . 63

Stefan. Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen . . . 64

Verschiedene Versuche über Reibungselectricität. Von Eduard Hagenbach 65

Galvanometer für absolutes magnetisches Maass. Von M. Th. Edelmann. (Tafel VII u. VIII) 80

Digitized by Google

Seite

Fuss zur festen Aufstellung von Instrumenten. Von M. Th. Edelmann. (Tafel X) 95
Ueber den Einfluss der Wärme auf die Brechung des Lichtes in festen Körpern. Von J. Stefan 97
Kleinere Mittheilungen:
Ein submariner Stromweiser für geringe Tiefen. Von A. Mühry. (Tafel XI) 119
Einfacher Thermoregulator. Von Prof. E. Reichert in Freiburg. (Tafel XI) 123
Ueber den Einfluss der Electricität der Sonne auf den Barometerstand. Von Director Hornstein in Prag 125
Ueber die dynamische Theorie der Diffusion der Gase. Von Prof. Stefan in Wien 126
Ueber gewisse Beschädigungen der Thermometer durch den Transport 126
Acustische Versuche zum Erweise, dass die Wellenlänge eines sich fortbewegenden schwimmenden Körpers verschieden ist von derjenigen, welche derselbe vibrirende Körper ohne Ortsveränderung hervorbringt. Von Alfred M Mayer 128
Ueber ein neues Laternen-Galvanometer. Von Alfred M. Mayer. (Tafel XI) 133
Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen. Von J. Stefan 138
Ueber die Nothwendigkeit, den zweiten Satz der mechanischen Wärmetheorie zu popularisiren. Von Dr. A. Kurz. (Tafel XI) 161
Ueber ein von Dr. Adolph Steinheil neuerlich construirtes Objectiv, und über die dabei benützten Rechnungsvorschriften. Von L. Seidel . . . 173
Ueber eine neue Methode, die Vergrösserung und das Gesichtsfeld eines Fernrohres zu bestimmen. Von Prof. Dr. A. v. Waltenhofen in Prag . . 184
Kleinere Mittheilungen:
Ueber eine neue Form der Noë'schen Thermosäule. Von Prof. Dr. A. v. Waltenhofen in Prag. (Tafel XII) 189
Mittheilung über Dr. R. Radau's Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones. Von Dr. Ph. A. M. Mayer 191
Apparat zur Demonstration eines Gefrierverzugs beim Wasser. Von Dr. G. Krebs 194
Der magnetische Theodolith. Von Meyerstein in Göttingen. (Tafel XIII) 197
Ueber ein neues magnetisches Universal-Instrument. Von H. Wild. (Tafel XIV u. XV) 208
Ueber ein neues Variations-Instrument für die Vertical-Intensität des Erdmagnetismus. Von H. Wild 217
Photometrische Untersuchungen. Von M. C. Wolf 227
Neuer Windrichtungs-Autograph. Von Prof. Schön in Brünn. (Tafel XII) . 235
Kleinere Mittheilungen:
Verticales Wagbalken-Galvanometer. Von Bourbouze in Paris. (Tafel XII) 242
Ein electrischer Versuch. Von F. Strehlke 243
Gaiffe's neue galvanische Batterie 243
Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Kautschuk. Von Stefan 244
A. v. Obermayer. Ueber das thermoëlectrische Verhalten einiger Metalle beim Schmelzen 244

Digitized by Google

Seite

Untersuchungen über die Theorie und Praxis des Wagebarometers. Von Paul Schreiber. (Tafel XVI u. XVII) 245
Beetz's Federcontact. (Tafel XVIII u. XIX) 317
Das Schwefelsäure-Hygrometer. Nach A. de la Rive und E. O. Wildmann Whitehouse 320
Das Chronoscop für electrische Funken. Von Lucas und Cazin 325
Ueber das spectroscopische Reversionsfernrohr. Von F. Zöllner. (Tafel XXI) 330
Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrösserung der optischen Instrumente. Von N. Lubimoff. 336
Magnetometer für Schulzwecke. Von M. Th. Edelmann (Tafel XXII u. XXIII) 351
Ueber die Mechanik des Dämpfers der Galvanometer. Von M. Th. Edelmann. (Tafel XXIV) 357
Spiegel-Galvanometer mit verstellbarem Dämpfer. Von M. Th. Edelmann. (Tafel XXV) 367
Ueber einige Modificationen der gebräuchlichen Verfahrungsweisen für Beobachtung der Lissajous'schen acustischen Figuren. Von A. Terquem 369

Kleinere Mittheilungen:

Ein electromagnetischer Rotationsapparat. Von G. Krebs . . . 373
Härteprüfung des magnetisirten Eisens. Von W. Rollmann in Stralsund 375
Specifisches Gewicht des Korkes. Von W. Rollmann 376
Das Spiegelgalvanometer. Vom Herausgeber. (Tafel XX u. XXI) 376
Ueber Schichtungen in schwingenden Flüssigkeiten. Von Stefan 378
Handl. Ueber den Zustand gesättigter und übersättigter Lösungen 379
Errata in Dr. Mayer's „Acustische Versuche etc." 379
Beiträge für die Anwendung des Spectroscops. Von Kaiser. . . 380
Verdunstungsmesser. Von Prettner 381
Ein Stabilitätsapparat. Von Anton Steinhauser, Prof. in Wien 384

Digitized by Google

Digitized by Google

Ueber die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft.

Von

M. A. Regnault.

(Bibliothèque universelle de Genève XI p. 229 ff.)

(Hiezu Tafel VI Figur 8 u. 9.)

Die Bestimmung der Menge der Feuchtigkeit, welche zu verschiedenen Zeiten in der Luft enthalten ist, ist eine Aufgabe von Wichtigkeit, insbesondere was die Anwendung der Meteorologie auf Botanik und Landwirthschaft anbelangt. Ich habe der sehr ausgedehnten Untersuchung, welche ich vor 20 Jahren über die Methoden zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft angestellt habe,[1]) nichts Neues hinzuzufügen; ich begnüge mich hier, die Schlussfolgerungen zusammenzustellen, bei welchen ich damals stehen geblieben war.

Unter allen Hygrometern, welche auf dem Gebrauche hygroscopischer Substanzen beruhen, ist das Haar-Hygrometer Saussure's das beste und dauerhafteste. Dasselbe kann genaue Angaben liefern, wenn man die von mir beschriebene specielle Methode der Graduirung anwendet und wenn man die Vorsicht gebraucht, von Zeit zu Zeit zu prüfen, ob der Apparat keine Störung erfahren hat.

Das Psychrometer kann genaue Resultate liefern, vorausgesetzt dass man sorgfältig darüber wacht, die Befeuchtung des Thermometers gleichmässig zu erhalten. Ausserdem muss das Psychrometer der freien Luft ausgesetzt sein, ohne irgend einen Schutz, der die Luftströmungen abhält. Endlich verlange ich, dass der Beobachter die Angaben seines Psychrometers und zwar in jener Position, die er gewählt hat, mit der Feuchtigkeitsmenge vergleiche, welche sich mittelst der chemischen Methode der Absorption des Wasserdampfes ergibt. Einige Versuche

1) Annales de Physique et de Chémie 3me série, tome XV, p. 129.

Digitized by Google

dieser Art, bei verschiedenen Temperaturen, verschiedenen Sättigungsgraden der Luft und verschiedenen Windgeschwindigkeiten angestellt, werden ihm die erforderlichen Daten liefern, um die Constanten der Interpolationsformel zu berechnen, welche für sein Psychrometer und den Ort, wo dasselbe angebracht ist, gilt.

Das Condensations-Hygrometer mit der Einrichtung, welche ich ihm gegeben habe, liefert immer vollkommen genaue Resultate. Sein Gebrauch ist bequem für einen Beobachter, der ein wenig darin geübt ist. Wenn man sich desselben auf der Reise bedienen will, so kann man den kleinen Aspirator mit Wassergefäss, welcher den Luftstrom erzeugt, durch eine einfachere, leichter tragbare Einrichtung, z. B. einen Kautschukballon, der durch den Druck der Hand einen Luftstrom hervorbringt, ersetzen.

Während des Tages kann man mittelst Photographie die Angaben des Psychrometers und auch jene des Haar-Hygrometers registriren, allein während der Nacht ist dies schwierig. Wenn man dem Psychrometer seine gewöhnliche Einrichtung gibt, so wird man es kaum vermeiden können, dass das Licht der Lampe die physischen Verhältnisse der Luft, in der sich das Psychrometer befindet, nicht merklich störe. Man vermeidet diesen störenden Einfluss, wenn man die Quecksilber-Thermometer durch Weingeist-Thermometer von der Einrichtung, wie selbe früher[1]) beschrieben wurde, ersetzt. Es sind dann blos die im Zimmer des Beobachters aufgestellten Maassröhren dem Einflusse der Strahlung ausgesetzt.

Das Psychrometer ist für niedere Temperaturen nicht geeignet; es ist dann sehr wenig empfindlich. Endlich lässt sich der Feuchtigkeitsgrad der Luft nicht mehr berechnen, wenn das Wasser auf der befeuchteten Kugel gefriert.

Ich glaube, dass man auf den Gebrauch dieser Instrumente an meteorologischen Observatorien verzichten soll; es ist vorzuziehen, direct — mittelst Wägung — die Menge Feuchtigkeit zu bestimmen, welche in der Luft während einer gegebenen Zeitperiode vorhanden ist. Da man auch die mittlere Temperatur der Luft während dieser Periode kennt, so kann man leicht den mittleren Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre berechnen.

---

1) Folgt noch in diesem Hefte des Repertoriums.

Digitized by Google

Ich will nun auseinandersetzen, wie nach meiner Ansicht diese Bestimmungen ausgeführt werden sollen, um ganz brauchbare Resultate ohne allzu grossen Zeitaufwand für die Beobachter zu liefern.

Denken wir uns einen Gasmesser, ähnlich jenen, welche bei der Gasbeleuchtung verwendet werden. Unser Gasmesser soll das Gas aspiriren, während der gewöhnliche Gasmesser durch den Ueberschuss der Spannung, welche das Leuchtgas immer in den Leitungen besitzt, in Bewegung gesetzt wird. Unser neuer Gasmesser muss daher durch einen mechanischen Motor in Bewegung gesetzt werden.

Das Einfachste ist, diese Bewegung durch das Herabsinken eines Gewichtes hervorzurufen, welches Sinken durch die Schwingungen eines Pendels geregelt wird. Der Motor muss mindestens für 12 Stunden ausreichen, ohne dass man ihn wieder aufzuziehen braucht. Diese Bedingung ist nicht schwer zu realisiren, da die Bewegung des Gasmessers wenig Kraft in Anspruch nimmt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Gasmessers kann nach Belieben verändert werden, indem man die Linse des regulirenden Pendels an der Pendelstange hinauf oder herab schiebt. Wollen wir einen Augenblick annehmen, die Geschwindigkeit sei eine solche, dass der Gasmesser 25 Litres Luft in der Stunde aufsaugt. Wollen wir weiter voraussetzen, dass man die mittlere Feuchtigkeitsmenge für jeden Zeitabschnitt von je 3 Stunden zu kennen wünscht, d. h. dass man vier Bestimmungen in 12 Stunden oder acht Bestimmungen in 24 Stunden machen will.

Ich beginne damit eine einzelne Operation zu beschreiben; ich werde hierauf die Einrichtungen angeben, welche man treffen muss, damit die folgenden Operationen ausgeführt werden, ohne dass die Gegenwart des Beobachters hiezu erforderlich wäre.

Der Gasmesser befindet sich in dem Beobachtungszimmer. Eine Bleiröhre, welche längs der Wände befestigt wird, geht aus diesem Beobachtungszimmer heraus und endigt an jenem Orte, dessen Feuchtigkeit man bestimmen will. An diesem Orte wird das U-förmige Rohr *abc* (Fig. 8 Taf. VI) angebracht, welches dazu bestimmt ist, die Feuchtigkeit der Luft zu absorbiren. Man verbindet dieses Rohr mittelst der Kautschuk-Tubulatur *hg* mit dem Bleirohr, welches bei *ih* endigt.

Diese U-förmige Röhre ist mit Bimsstein gefüllt, welcher mit concentrirter Schwefelsäure getränkt ist. Der Bimsstein muss in etwas grösseren Stücken, ungefähr von der Grösse einer Erbse, sein; wenn die Stücke zu klein sind, so setzen sie dem Durchgange der Luft zu

Digitized by Google

viel Widerstand entgegen. Der frische Bimsstein muss, nachdem er in Fragmente zertheilt und von Staub gereinigt ist, vorläufig mit schwacher Schwefelsäure getränkt und dann in einem irdenen Schmelztiegel bis zum Rothglühen erhitzt werden. Diese vorläufige Operation ist nothwendig, um einige kalkartige Bestandtheile und organische Stoffe zu zerstören, welche im Bimssteine vorkommen können.

Wenn der Bimsstein abgekühlt ist, wird er mit concentrirter Schwefelsäure getränkt, welche letztere man abtropfen lässt, und hierauf in die U-förmige Röhre gebracht. Man schliesst diese Röhre mit zwei Korken, durch welche die gekrümmten Glasröhren *afg* und *cde* hindurchgehen. Die Stöpsel müssen mit einem Firniss von geschmolzenem Schellack überzogen werden, um zu verhüten, dass ihr Gewicht sich durch Absorption oder Entwicklung von Feuchtigkeit ändere. Ein Metallfaden *fkd* gestattet die Röhre am Wagebalken der Wage zum Behufe der Wägung aufzuhängen und sie an dem Orte des Versuches in verticaler Lage zu befestigen. Es ist vortheilhaft, diese Röhre in eine kleine Cassette einzuschliessen, welche sie vor dem Regen schützt.

Man führt eine vorläufige Wägung der Röhre aus, indem man als Tara eine zweite ähnliche Röhre benützt, die nahezu die gleiche Menge Luft verdrängt. Diese Vorsichtsmassregel führt keine Schwierigkeit mit sich, da dieselbe als Tara benützte Röhre fortwährend benützt werden kann, dagegen dient sie dazu, dass man sich um den kleinen Fehler, den eine merkliche Aenderung der Dichte der äusseren Luft zwischen den beiden Wägungen auf die Resultate der letzteren haben könnte, nicht weiter zu kümmern braucht. Nachdem die Röhre gewogen und an ihrem Platze für die Beobachtung angebracht ist, setzt man den Gasmesser in Bewegung und lässt ihn durch drei Stunden fortwirken. Man notirt das Luftvolum V, welches er aspirirt hat; es wird der Voraussetzung zu Folge ungefähr 75 Litres sein. Um das genaue Gewicht P dieser Luftmasse zu erhalten, muss man das durch den Gasmesser angezeigte Volum, die mittlere Temperatur und den mittleren Luftdruck kennen; allein diese beiden letzteren Elemente sind ohnehin durch die anderen Aufzeichnungen am Observatorium bekannt.

Indem man die U-förmige Röhre zum zweiten Male wägt, gibt die Gewichtsvermehrung, welche sie erfahren hat, das Gewicht p des Wasserdampfes, der in der Gewichtsmenge P der Luft bei der mittleren Temperatur t vorhanden ist. Man sucht nun in der Tafel der Spannkräfte der Wasserdämpfe für verschiedene Temperatur die Spann-

Digitized by Google

kraft F des Wasserdampfes im Maximum seiner Dichte bei der Temperatur t und berechnet das Gewicht π des Wasserdampfes, das sich in der Gewichtsmenge P der Luft befinden würde, wenn diese mit Wasserdämpfen gesättigt wäre. Das Sättigungsverhältniss wird dann durch den Bruch $\frac{p}{\pi}$ dargestellt.

Wir wollen nun den complicirteren Fall betrachten, wo der Apparat automatisch 4 Operationen je nach drei Stunden auszuführen hat, ohne dass der Beobachter sich um dieselbe zu kümmern braucht. Ich bediene mich in diesem Falle eines kleinen Apparates (Fig. 9), den ich neben dem Gasmesser anbringe. Dieser Apparat besteht aus einer Messingröhre $ABCD$, welche an dem einen Ende AB geschlossen ist und seitlich 4 Tubulaturen o, o', o'' und o''' in gleicher Entfernung von einander trägt. Eine zweite Röhre EF von kleinerem Durchmesser und an beiden Enden geschlossen, aber mit einer seitlichen Tubulatur Q versehen, lässt sich in die erste Röhre $ABCD$ hineinschieben. Die Röhre EF ist mit zwei ringartigen Ansätzen ab und cd versehen, welche zwei mit geringer Reibung wirkende Stempel abgeben. Die Tubulatur Q steht mittelst eines Kautschukrohres mit der Büchse des Gasmessers in Verbindung, so dass das Ansaugen der Luft im Innern der Röhre EF erfolgt. Eine Oeffnung P endlich, welche seitlich in der Röhre EF angebracht ist, kann der Reihe nach vor jede der Tubulaturen o, o', o'' und o''' gebracht werden, um die durch den Gasmesser hervorgebrachte Aspiration dorthin zu leiten. Die mit dem Stempel versehene Röhre EF wird durch eine Spiralfeder fortwährend von E gegen F gezogen, allein die Wirkung dieser Feder wird durch den Sperrhaken GH aufgehoben.

Jede der Tubulaturen o, o', o'', o''' steht mittelst einer Bleiröhre mit einer U-förmigen Röhre (Fig. 8) in Verbindung, welche mit Bimsstein gefüllt ist, der mit concentrirter Schwefelsäure getränkt ist. Die U-förmige Röhre ist zuvor genau gewogen worden.

In dem ersten dreistündigen Zeitabschnitte befindet sich die als Stempel wirkende Röhre in der Lage, welche Fig. 8 ergibt; wenn aber die 3 Stunden vorüber sind, bewirkt das Uhrwerk, dass der Gasmesser die Zahl der durchgeströmten Litres Luft markirt. Das Uhrwerk hebt auch während einer sehr kurzen Zeit, so dass nur ein Zahn der gezähnten Stange MN hindurchgehen kann, den Sperrhaken GH auf. Die Oeffnung P der Röhre EF kommt nun vor die Tubulatur

Digitized by Google

o' zu stehen und die Aspiration der Luft erfolgt nun durch die zweite absorbirende Röhre. Diese beiden Bewegungen werden leicht hervorgebracht, wenn man kleine Electromagnete zu Hilfe nimmt.

Nach der zweiten dreistündigen Periode werden dieselben Bewegungen hervorgebracht. Die Markirvorrichtung bezeichnet die Luftmenge, die durch den Gaszähler geströmt ist, die Oeffnung P stellt sich der dritten Tubulatur o'' gegenüber und so fort.

Eine halbe Stunde vor dem Ende der vierten Periode nimmt der Beobachter die absorbirende Röhre der Tubulatur o und wägt dieselbe. Die Gewichtszunahme stellt das Gewicht des absorbirten Wasserdampfes dar. Die Röhre wird wieder mit der Tubulatur o in Verbindung gesetzt. Am Ende der vierten Periode drückt der Beobachter den Stempel in die Röhre $ABCD$ hinein und bringt ihn in die Stellung zurück, welche die Fig. 9 darstellt. Der Apparat ist also wieder derart gestellt, dass er seinen Gang regelmässig fortsetzen kann. Hierauf werden nach einander die absorbirenden Röhren, die mit den Tubulaturen o', o'', o''' in Verbindung stehen, gewogen und diese Verbindung sodann wieder hergestellt. Der Apparat kann nunmehr ohne weitere Nachhilfe die Bestimmungen für die 12 Nachtstunden liefern.

Dieselbe absorbirende Röhre kann, wenn sie etwas beträchtliche Dimensionen hat, für 3 oder 4 aufeinander folgende Operationen und bei kalter Witterung auch für eine noch grössere Zahl von Bestimmungen dienen. Man muss nur die Vorsicht gebrauchen, die Luft immer durch dieselbe Tubulatur cde einströmen zu lassen.

Man könnte den Apparat so einrichten, dass er durch 24 Stunden functionirte, ohne ihn neuerdings aufzuziehen und ohne dass die Anwesenheit des Beobachters dabei erforderlich wäre. Es würde zu diesem Zwecke hinreichen, die Röhre $ABCD$ zu verlängern, 8 Tubulaturen o, o'... an Stelle der früher erwähnten anzubringen u. s. f. Auch kann die Wirkung der Spiralfeder durch jene eines Gewichtes, welches herabsinkt, ersetzt werden u. s. f. Ich begnüge mich damit, die allgemeine Methode angegeben zu haben; jeder Beobachter wird die Einrichtungen wählen, welche unter den gegebenen Verhältnissen die bequemsten sind.

Wenn der Gaszähler blos für isolirte Beobachtungen dienen soll, wie jene, die ein Gelehrter von Zeit zu Zeit, oft auf der Reise ausführt, so kann seine Construction sehr vereinfacht werden. Unter

Digitized by Google

Anderem kann die bewegende Kraft des Gewichtes durch eine Spiralfeder ersetzt werden, deren Wirkung durch Windflügel regelmässiger gemacht werden.

An einem Observatorium kann es sich treffen, dass man von einer bestimmten Höhe herabfallendes Wasser zu seiner Disposition hat. Man besitzt dann eine bewegende Kraft, die leicht zu reguliren ist und auf verschiedene Arten dazu benützt werden kann, den Gasmesser in Bewegung zu setzen. Eines der einfachsten Mittel besteht darin, sich zweier mit einander verbundener Gasmesser zu bedienen, deren schüsselförmige Windflügel sich an derselben verticalen Axe befinden. Der eine dieser Windflügel wird in Bewegung gesetzt durch einen regelmässigen Luftstrom, der ihm mit einem leichten Ueberschuss an Spannung durch den herabfallenden Wasserstrahl zugeführt wird. Der Windflügel functionirt also, als ob er einen Bestandtheil eines gewöhnlichen Gasmessers bilden würde und er führt in seiner Bewegung das zweite Windrad des aspirirenden Gasmessers mit sich, welcher letztere bewirkt, dass ein gleiches Volumen Luft durch die absorbirenden Röhren hindurchgeht.

Digitized by Google

Zur Frage über die Wirkung farbigen Lichtes auf die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen.

Von

E. Lommel in Erlangen.

In einem zuerst in den „Oeconomischen Fortschritten“ [1]) erschienenen und dann auch in Poggendorff's Annalen[2]) reproducirten Aufsatz „über das Verhalten des Chlorophylls zum Licht“ hatte ich, gestützt auf den evidenten Satz, dass nur solche Strahlen auf einen Körper chemisch wirken können, welche von demselben absorbirt werden[3]), ausgesprochen, dass die Intensität der chemischen Wirkung abhängen müsse

1. von dem Grade der Vollkommenheit der Absorption;
2. von der (durch ihre Wärmewirkung zu messenden) lebendigen Kraft oder „mechanischen Intensität“ der absorbirten Strahlen.

Die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen, d.i. die Zerlegung der Kohlensäure und Abscheidung des Sauerstoffs, vollzieht sich bekanntlich nur in den chlorophyllhaltigen Zellen unter dem Einflusse des Lichtes.

Man ist daher berechtigt, bei dieser chemischen Wirkung des Lichts das Chlorophyll als den Vermittler zu betrachten, indem man annimmt, dass die vom Chlorophyll absorbirten Strahlen auch diejenigen seien, welche die Zerlegung der Kohlensäure bewirken.

Demnach hätten zur theoretischen Beurtheilung der Rolle, welche die verschiedenartigen Strahlen bei der Assimilationsthätigkeit der Pflanzen spielen, das Absorptionsspectrum des Chlorophylls einerseits und die Wärmecurve des Sonnenspectrums andererseits die Grundlagen zu bilden.

---

1) 1871, Nr 3.

2) Bd. CXLIII. S. 568. Cf. Repertorium VII. pag. 65. 154.

3) Dass Lichtabsorption und chemische Zersetzung stets Hand in Hand gehen, hat Herr Schultz-Sellack speciell für die Silberhaloidsalze nachgewiesen. Pogg. Ann. CXLIII. S. 161.

Digitized by Google

Die Anwendung dieser Grundsätze führte zu dem Satz:[1])

Für die Assimilationsthätigkeit der Pflanze sind die wirksamsten Strahlen diejenigen, welche durch das Chlorophyll am stärksten absorbirt werden und zugleich eine hohe mechanische Intensität (Wärmewirkung) besitzen. Es sind dies die rothen Strahlen zwischen *B* und *C*; d. h. mit anderen Worten: das absolute Maximum der assimilirenden Wirkung entspricht dem intensivsten Absorptionsstreifen I des Chlorophylls.

Kleinere (relative) Maxima würden den im Orange, Gelb und Grün liegenden Absorptionsstreifen II, III und IV und der fast vollständigen Absorption des blau-violetten Endes entsprechen. Da die Vollkommenheit der Absorption nach der Reihenfolge der Streifen und ebenso die Wärmewirkung der entsprechenden Strahlen gegen das brechbarere Ende des Spectrums hin abnimmt, so müssten auch die den Streifen II, III, IV zugehörigen Maxima der Reihe nach kleiner werden; das zweitgrösste Maximum entspräche sonach dem Streifen II.

Die blauen und violetten Strahlen werden, trotz ihrer kräftigen Absorption, nur eine geringe Wirkung äussern, weil ihre lebendige Kraft sehr gering ist.

Völlig unwirksam wird aber keiner der Strahlen von *B* bis zum violetten Ende sein können, da selbst die zwischen den dunklen Streifen gelegenen Theile des Spectrums eine schwache und bei hinlänglich dicker Schicht sogar eine vollständige Absorption erleiden.

Nur die äussersten rothen Strahlen vor *B* werden gar keine Wirkung hervorbringen, weil sie selbst bei dicker Schicht durch das Chlorophyll nicht absorbirt werden.

In dem oben citirten Aufsatz hatte ich nur das erste dem Streifen I entsprechende Maximum erwähnt, weil ich die Streifen II, III und IV in dem Spectrum des durch frische grüne Blätter gegangenen Lichtes nicht wahrgenommen hatte. Sie sind aber, wie ich mich seitdem überzeugt habe, in der That vorhanden, erscheinen jedoch sehr viel schwächer als bei der Lösung, und sind daher leicht zu übersehen. Dieses Verhalten lässt sich leicht erklären; ein Antheil des durch das Blatt gesendeten Lichts geht neben den Chlorophyllkörnern durch den farblosen Zellsaft hindurch; dieses weisse Licht erzeugt nothwendig ein continuirliches Spectrum, welches sich wie ein Flor über das Ab-

1) Pogg. Ann. Bd. CXLIII. S. 581.

Digitized by Google

sorptionsspectrum des Chlorophylls ausbreitet; dadurch werden die schwächeren Absorptionsstreifen undeutlich gemacht oder ganz verwischt, während dem intensiven Streifen I nur wenig Abbruch geschieht.

Mit besonderem Bezug auf jenes Hauptmaximum zwischen *B* und *C* hatte ich hinzugefügt, dass die mir bekannten Versuche über die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen in verschiedenfarbigem Licht die obigen Sätze bestätigen oder wenigstens keinen Widerspruch dagegen enthalten, hatte mich jedoch begnügt, nur auf die neueste damals vorliegende Versuchsreihe von Herrn Pfeffer[1]) hinzuweisen. Durch eine Bemerkung des Herrn Gerland gegen Ende seiner schätzenswerthen Abhandlung „über die Einwirkung des Lichtes auf das Chlorophyll"[2]) sehe ich mich aber veranlasst, noch einige andere Arbeiten über Kohlensäurezerlegung in verschiedenfarbigem Licht von dem hier in Betracht kommenden Gesichtspunct aus einer kurzen Besprechung zu unterwerfen.

Bei der Mehrzahl dieser Versuche[3]) wurden zur Herstellung des farbigen Lichtes absorbirende Medien (gefärbte Gläser und Lösungen)

---

1) Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, herausgegeben von Prof. Dr. Julius Sachs. Heft I. Dr. W. Pfeffer: die Wirkung farbigen Lichts auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen. Leipzig, Engelmann, 1871.

2) Pogg. Ann. Bd. CXLIII. S. 585. Herr Gerland sagt nämlich, indem er sich auf die Versuche der Herren Draper, Sachs und Pfeffer stützt: „Wenn also nach den gegebenen Daten der genaue Verlauf der Assimilationscurve auch noch nicht angegeben werden kann, so darf doch als feststehend bezeichnet werden, dass ihr Maximum im gelben Lichte liegt."

Es sei mir verstattet, eine in derselben Abhandlung vorkommende irrthümliche Auffassung des Herrn Gerland hier im Vorbeigehen zu berichtigen. Herr Gerland sagt nämlich S. 603: „Von der Ansicht, dass festes Chlorophyll und mithin das der Blätter ausser Streifen I keinen Absorptionsstreifen zeigt, ausgehend, haben neuerdings die Herren Hagenbach und Lommel die Fluorescenz des festen Chlorophylls in Abrede gestellt." Nun wurde aber die Fluorescenz des festen Chlorophylls von uns in Abrede gestellt, einzig aus dem Grunde, weil wir sie nicht gesehen haben. Von einem theoretischen Zusammenhang mit der Abwesenheit jener Absorptionsstreifen ist nirgends die Rede.

3) Es gehören hierher folgende Arbeiten:

Daubeny, Philosophic. transact. t. 126, 1836.
Hunt, übers. aus dem Engl. in Bot. Zeitung 1851.
Cloëz und Gratiolet, Ann. de Chim. et Physique, 3. Série, T. 32, 1851
Sachs, Botan. Zeitung 1864.
Cailletet, Comptes rendus T. 65. 1867.
Timirjaseff, Botan. Zeitung 1869.
Prillieux, Annal. des sciences naturelles 1869.
Pfeffer, Arbeiten des botanischen Inst. in Würzburg, Heft I, 1871.
Baranetzky, Botan. Zeitung 1871.

Digitized by Google

verwendet. Das so erhaltene farbige Licht ist bekanntlich weit davon entfernt, homogen zu sein; sämmtliche Absorbentien lassen mehr oder minder beträchtliche Strecken des Spectrums durch. Am homogensten zeigt sich noch das durch rothe Medien (z. B. Kupferoxydulglas oder Anilinlösung) gegangene Licht, welches blos die rothen und orangegelben Strahlen bis *D* enthält. Die gelben Absorbentien dagegen (z. B. doppelt chromsaures Kali) lassen die gesammte weniger brechbare Hälfte des Spectrums, nämlich Roth, Orange und Grün, ungeschwächt durch. Die grünen Medien (z. B. Lösung von Chlorkupfer) sind durchlässig für Gelb, Grün und Blau, die blauen (z. B. Kupferoxydammoniak) für Blaugrün, Blau und Violett.

Die Kohlensäuremengen, welche hinter solchen gefärbten Schirmen von Pflanzen oder Pflanzentheilen zersetzt oder die Sauerstoffmengen, welche ausgeschieden wurden, konnten daher nur ein Maass sein für die Summe der Wirkungen der in dem einwirkenden Licht enthaltenen Strahlen. Sie sagen direct nichts über den Antheil, welcher diesem oder jenem homogenen Strahl an dieser Wirkung zukommt.

Man könnte aber, bei geeigneter Wahl der Absorbentien, durch Combination der gefundenen Werthe die Antheile berechnen, welche jedem Farbenbezirke des Spectrums zukommen, vorausgesetzt, dass die einzelnen Resultate einer Versuchsreihe zahlenmässig streng unter sich vergleichbar wären. Herr Pfeffer z. B. findet hinter einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali, welche Roth, Orange, Gelb und Grün durchlässt, eine zersetzende Wirkung = 83,6, für eine Lösuug von Anilinroth, welche nur Roth und Orange durchlässt, eine Wirkung = 32,1, und schliesst daraus, dass dem Roth-Orange die Wirkung 32,1, dem Gelb und Grün eine Wirkung = 88,6 — 32,1 = 56,5 zukomme. Dieser Schluss wäre aber nur dann erlaubt, wenn man wüsste, dass das durch die Anilinlösung gegangene Roth-Orange dieselbe Intensität besitzt wie das durch das doppeltchromsaure Kali gegangene Roth-Orange. Das Anilinroth verhält sich aber den orangerothen Strahlen gegenüber ganz anders als das doppeltchromsaure Kali; jenes absorbirt bei hinlänglicher Concentration oder genügend dicker Schicht auch noch die Strahlen von *D* bis gegen *C*, und wird daher auch bei geringerer Concentration diesen Strahlencomplex mindestens abschwächen; dieses dagegen lässt selbst in concentrirter Lösung und dicker Schicht das Roth-Orange unversehrt. Es erscheint sonach nicht nur möglich, son-

Digitized by Google

dern sogar wahrscheinlich, dass das Roth-Orange des doppeltchromsauren Kalis intensiver war, als dasjenige des Anilinrothes; die Berücksichtigung dieses Umstandes würde aber bei der Berechnung der auf die einzelnen Farbenbezirke des Spectrums treffenden Antheile der assimilirenden Wirkung nothwendig eine Modification zu Gunsten des Roth-Orange ergeben. Aehnliches lässt sich in Betreff der übrigen zur Anwendung gekommenen Absorbentien sagen: es müsste überhaupt ein sonderbares Spiel des Zufalls gewaltet haben, wenn die verschiedenen Lösungen ganz von selbst so ausgefallen wären, dass das von jeder durchgelassene farbige Licht gerade die Intensität des entsprechenden Spectraltheils des weissen (durch reines Wasser gegangenen) Lichtes erlangt hätte, was doch bei der Berechnung der procentischen Wirkung der einzelnen Farbenbezirke vorausgesetzt wurde. Der Schluss, den Herr Pfeffer aus seinen höchst werthvollen Versuchen zieht, dass die gelben Strahlen die wirksamsten seien, erscheint daher keineswegs als erwiesen, um so weniger als die mit Chlorophylllösung angestellten Versuche diesem Schlusse geradezu widersprechen. Herr Pfeffer fand, dass hinter einer Chlorophylllösung auffallend geringe Mengen Kohlensäure zersetzt werden. Die angewendete Chlorophylllösung absorbirte (nach der mitgetheilten Skizze ihres Spectrums) die brechbarere Hälfte und zeigte in der weniger brechbaren Hälfte die bekannten Absorptionsstreifen; das äusserste Roth, das mittlere Orange, der grösste Theil des Gelb und das gesammte Grün drang hindurch. Wenn nun auch die Versuche nicht in dem Sinne strenge mit einander vergleichbar sind, dass Zahlenverhältnisse aus ihnen berechnet werden könnten, so zeigt doch der enorme Unterschied der Chlorophylllösung gegenüber dem chromsauren Kali oder dem reinen Wasser, dass der grösste Theil der assimilirenden Wirkung den vom Chlorophyll absorbirten Strahlen zugeschrieben werden muss. Den gelben Strahlen, welche durch das Chlorophyll nur schwach absorbirt werden, kann nur ein entsprechend geringer Theil an dieser Wirkung zukommen.

Herr Timirjaseff bediente sich, um die Ergebnisse seiner Versuche zu interpretiren, eines anderen weniger naheliegenden Rechnungsverfahrens. Er dividirt die hinter irgend einer seiner farbigen Flüssigkeiten zersetzte Kohlensäuremenge durch die Ausdehnung des Spectrums des durchgelassenen Lichtes, und betrachtet den so erhaltenen Mittelwerth als die dem mittleren Strahle des jeweiligen Spectrums ent-

Digitized by Google

sprechende Zersetzungskraft. Indem er diese Werthe als Ordinaten an den entsprechenden Stellen des als Abscissenlinie dienenden Spectrums aufträgt, erhält er eine Curve, welche das Gesetz der Assimilation ausdrücken soll. Er findet, dass diese Curve mit der Wärmecurve des Sonnenspectrums nahe übereinstimmt, und schliesst daraus, „dass die Zersetzung den Erwärmungskräften der Sonnenstrahlen proportional sei."

Dieses Rechnungsverfahren kann von Willkürlichkeit nicht freigesprochen werden. Es wurde der Rechnung, wie es scheint, das gewöhnliche prismatische Spectrum (das Dispersionsspectrum), wie man es etwa mittelst eines Flintglasprismas erhält, zu Grunde gelegt; wäre statt dessen das normale Spectrum (das Diffractionsspectrum), in welchem die weniger brechbaren Strahlen eine verhältnissmässig grössere Ausdehnung besitzen, angewendet worden, so hätten sich für diese Strahlen nothwendig kleinere Mittelwerthe ergeben müssen, und die Annäherung an die Wärmecurve wäre dadurch weniger auffällig geworden. Auch die Errichtung der Ordinaten gerade in der Mitte des jeweils durchgelassenen Spectrums erscheint willkürlich. Ausserdem muss, wie bei allen diesen Versuchen, geltend gemacht werden, dass dieselben in völliger Strenge nicht mit einander vergleichbar sind. Dass übrigens der obige Satz, so wie ihn Herr Timirjaseff ausspricht, nicht wahr sein kann (nach unserer Ansicht enthält er allerdings die Hälfte der Wahrheit), beweist schon der Umstand, dass unter dem Einfluss der dunkeln ultrarothen Strahlen, welche als die wärmsten des Spectrums nach jenem Satze für die Assimilation am meisten leisten müssten, nicht nur keine Kohlensäure zersetzt, sondern sogar Kohlensäure ausgeschieden wird.

Die Herren Prillieux und Baranetzky, in der Absicht, den Einfluss der Lichtstärke auf die Zersetzungskraft zu prüfen, suchten sich Lösungen herzustellen, welche verschiedene Farben mit gleicher Helligkeit durchliessen, und bedienten sich, um diesen Zweck zu erreichen, der Methode der Vergleichung der Schatten (Rumfords Photometer). Diese Methode kann aber nur mit Sicherheit angewendet werden, wenn die zu vergleichenden Lichtsorten gleichfarbig sind; ist die Farbe der Lichtsorten und demnach auch diejenige der Schatten verschieden, so wird unser Urtheil über deren gleiche Helligkeit (Lichtstärke) unsicher. Auch würde jedenfalls eine blaue Lösung z. B., damit sie unserem Auge gleich hell erschiene wie eine gelbe, so schwach

Digitized by Google

gemacht werden müssen, dass sie nicht nur blaue und violette, sondern auch noch grüne, gelbe und rothe Lichtstrahlen durchliesse. Das Misslichste aber bei diesen Versuchen ist, dass in sie ein physiologisches Moment hineingetragen wird, welches der zu erforschenden Erscheinung völlig fremd ist. In der That, was hat die subjective Empfindungsstärke des menschlichen Auges für verschiedene Farben mit dem objectiven Vorgang der Assimilation in der Pflanze zu thun?

Auf Grund dieser Versuche ziehen die Herren Prillieux und Baranetzky den Schluss, dass die Assimilation allein von der Intensität des Lichts bedingt sei, unabhängig von dessen Farbe und anderen Eigenschaften. Wir wollen untersuchen, was dieser Ausspruch zu bedeuten hat.

Wir haben gesehen, dass die Zahlenangaben, welche Herr Pfeffer für die Zersetzungskraft der einzelnen Farbenbezirke macht, auf der Voraussetzung beruhen, dass die durch die einzelnen Lösungen gegangenen farbigen Lichtmengen dieselbe Intensität haben, wie die entsprechenden Theile im Spectrum des weissen Lichts, welches durch eine gleichdicke Schicht klaren Wassers gegangen ist. Es hat daher einen ganz bestimmten klaren Sinn, wenn z. B. die Zersetzungskraft der blauvioletten Strahlen zu 7,6 Procent angegeben wird; es heisst das, die Wirkung der blauvioletten Strahlen, wenn sie in der verhältnissmässigen Intensität angewendet werden, wie sie im weissen Sonnenlicht enthalten sind, beträgt 7,6, wenn die des weissen Lichts 100 beträgt. Damit ist zugleich gesagt, dass, wenn die Intensität des Blau-Violett 13,2mal so stark gemacht wird, ihre Wirkung ebenfalls 100 sein wird. Etwas Aehnliches haben die Herren Prillieux und Baranetzky gethan; sie haben sich durch ihr Verfahren von dem Intensitätsverhältniss der einzelnen Farben im Sonnenspectrum weit entfernt, indem sie die brechbareren Farben, welche auf unser Auge einen schwachen Eindruck hervorbringen, in verhältnissmässig viel grösserer Stärke einwirken liessen als die weniger brechbaren, für welche das Auge viel empfindlicher ist. Das gefundene Resultat ist daher nicht nur nicht zu verwundern, sondern wäre sogar vorauszusehen gewesen. Aber eben darum ist es völlig nichtssagend, und kann gegen den Satz, dass jeder Spectralfarbe eine specifische Zersetzungskraft zukommt, nichts beweisen.

Durch die bisher besprochenen Versuche ist demnach weder bewiesen, dass die hellsten (gelben) Strahlen, wie Herr Pfeffer meint,

Digitized by Google

noch dass die wärmsten Strahlen (nach Herrn Timirjaseff) die wirksamsten seien, noch auch, wie die Herren Prillieux und Baranetzky wollen, dass die Zersetzungskraft von der Farbe unabhängig sei. Das grosse Verdienst dieser und der übrigen oben citirten Arbeiten (welche hier einzeln zu besprechen unnöthig erscheint), besteht vielmehr darin, gezeigt zu haben, dass die für die Kohlensäurezerlegung wirksamsten Strahlen der weniger brechbaren Hälfte des Spectrums angehören; sie haben damit zugleich das Vorurtheil beseitigt, als ob die brechbareren Strahlen, welche auf die Silberhaloidsalze zersetzend wirken, vorzugsweise „chemisch wirksame" Strahlen seien und so benannt werden müssten.

Dieses Ergebniss hat Herr Sachs, als Schlussfolgerung aus seinen Versuchen, in exacter Weise ausgesprochen: „Das gemischte orange Licht, dessen Einfluss auf das photographische Papier während der Beobachtungszeit unmerklich war, leistete bei der Gasabscheidung fast eben so viel wie das weisse Licht; während dagegen das blaue trotz der energischen Bräunung des photographischen Papiers nur unbedeutend auf die Pflanze einwirkte."

Ausserdem scheint mir aber aus den oben erwähnten von Herrn Pfeffer mit Chlorophylllösung angestellten Versuchen noch mit Sicherheit hervorzugehen, dass die für die Kohlensäurezerlegung wirksamen Strahlen gerade diejenigen sind, welche vom Chlorophyll absorbirt werden.

Wir kommen jetzt zu den Versuchen, welche unter der directen Einwirkung der Strahlen des Sonnenspectrums ausgeführt wurden. Wenn wir die Versuche des Herrn Gardner[1]), welcher keine Gasbestimmungen ausführte, sondern nur beobachtete, dass junge etiolirte Pflanzen unter der Einwirkung der gelben Strahlen am schnellsten ergrünten, bei Seite lassen, so haben wir zunächst die Versuche des Herrn Draper[2]) in Betracht zu ziehen. Herr Draper brachte grüne Pflanzentheile (Grashalmen) mehrere Tage lang in der Dunkelheit unter mit Kohlensäure gesättigtes Wasser, um die an ihrer Oberfläche etwa adhärirende Luft zu entfernen. Sodann füllte er sieben Glasröhren von 13^{mm} und 18^{cm} Länge mit reinem kohlensäurehaltigem Wasser; er kehrte sie um in einer mit dem nämlichen Wasser ge-

1) Philosoph. magazine, 1844.
2) Philosoph. magazine, 1844.

Digitized by Google

füllten kleinen Wanne, und brachte in ihren oberen Theil die nämliche Anzahl Grashalme, indem er Sorge trug, dass dieselben einander möglichst gleich waren. Sämmtliche Röhren wurden vertical und parallel neben einander in der Wasserwanne aufgestellt.

Er stellte nun diesen Apparat so auf, dass ein mittelst Heliostat und Prisma entworfenes Spectrum auf die Theile der Röhren fiel, welche die Halme enthielten, derart, dass jede derselben eine durch eine bestimmte Farbe charakterisirte Strecke des Spectrums einnahm. Nach einigen Minuten fing in den Röhren, welche von den orangefarbenen, gelben und grünen Strahlen getroffen wurden, die Gasentwicklung an; nach Verlauf von $1^1/_2$ Stunde war die Gasmenge beträchtlich genug, um eine Messung zu gestatten. Die Resultate der zwei in dieser Weise angestellten Versuche sind folgende:

Farbe des einfallenden Lichtes.	Volum. des entwickelten Gases.	
	I. Versuch.	II. Versuch.
Dunkelroth	0,33	—
Roth und Orange	20,00	24,75
Gelb und Grün	36,00	43,75
Grün und Blau	0,10	4,10
Blau	—	1,00
Indigo	—	—
Violett	—	—

Danach käme dem Farbenbezirk „Gelb und Grün" die höchste Zersetzungskraft zu.

Herr Gerland beruft sich besonders auf diese im objectiven Spectrum erhaltenen Resultate des Herrn Draper, wenn er es in der oben bereits citirten Abhandlung als feststehend bezeichnet, dass das Maximum der Zersetzungskraft im gelben Lichte liegt. Auf die Autorität der Draper'schen Versuche gestützt, stellt Herr Gerland sogar die Vermuthung auf, dass die Assimilation nicht durch das Chlorophyll, sondern durch einen dem Chlorophyll beigemengten Stoff bedingt werde, der im Gelb einen nach beiden Seiten langsam in Helligkeit übergehenden dunkeln Absorptionsstreifen haben, und dessen Farbe demnach bläulich sein müsse.

Digitized by Google

Die Draper'schen Resultate sind aber durch eine jüngst erschienene Arbeit[1]) des Herrn N. J. C. Müller vollständig widerlegt. Herr Müller hat, in ähnlicher Anordnung wie Herr Draper, 9 Versuchsreihen durchgeführt, in welchen von 4 bis 9 Absorptionsröhren gleichzeitig verschiedenen Theilen des Spectrums ausgesetzt waren. In diesen Röhren befanden sich in einem kolensäurereichen Gasgemisch möglichst gleich beschaffene Oleanderblätter. Nach jedem Versuche wurden die Volume der durch Kalilauge nicht absorbirbaren Gase in jeder Röhre ermittelt und daraus auf die zersetzende Wirkung der entsprechenden Strahlen geschlossen.

Das Ergebniss der Untersuchungen des Herrn Müller lässt sich in folgenden Worten zusammenfassen:

Die Assimilation der Kohlensäure hat in dem rothen Ende des Spectrums ihr Maximum und zwar liegt dieses Maximum, dem ersten Absorptionsstreifen des Chlorophylls entsprechend, zwischen *B* und *C*. Ein zweites aber kleineres Maximum kommt dem zweiten Absorptionsstreifen bei *D* zu.

Die Existenz des Hauptmaximums der Assimilation im Roth zwischen *B* und *C*, sowie des zweiten Maximums im Orange ist hiemit erwiesen und es lässt sich hoffen, dass bei genauerer Untersuchung der Assimilation im Gelb und Grün auch die den Absorptionsbändern III und IV entsprechenden Maxima nachgewiesen werden. Wie Herrn Draper jenes Hauptmaximum entgehen konnte, lässt sich vielleicht in folgender Weise erklären. Bei der von ihm getroffenen Anordnung seiner Röhren konnte es geschehen, dass die schmale Zone des Roth zwischen *B* und *C* zwischen die erste und zweite Röhre fiel, während das zweite Maximum auf die zweite, das dritte und vierte Maximum auf die dritte Röhre traf. Bei dieser Annahme, zu deren Bestätigung freilich jeder positive Anhaltspunct fehlt, würden sich die Draper'schen Zahlenangaben leicht erklären.

Dass das Maximum der Zersetzungskraft für Kohlensäure den mittleren rothen Strahlen (zwischen *B* und *C*) zukomme, dürfte hienach als eine wohlbewiesene Thatsache zu betrachten sein. Worauf ich aber noch ganz besonders und wiederholt aufmerksam machen

1) Botanische Untersuchungen von Dr. N. J. C. Müller. 1. Untersuchungen über die Sauerstoffausscheidung der grünen Pflanzen im Sonnenlicht; Heidelberg 1872.

Digitized by Google

möchte, ist der enorme Unterschied, welcher hinsichtlich ihrer assimilirenden Wirkung zwischen diesen mittleren und zwischen den äusseren rothen Strahlen (von *A* bis nahe vor *B*) bestehen muss, wenn anders die Eingangs aufgestellten theoretischen Gesichtspuncte richtig sind. Während jene, energisch absorbirt und von grosser Intensität, die höchste Zersetzungskraft besitzen, werden diese bei noch grösserer Intensität gar nichts leisten, weil sie nicht absorptionsfähig sind. Diesen diametralen Gegensatz in der Wirkung zweier schmalen Spectralzonen, welche unmittelbar an einander grenzen, nach der Draper-Müller'schen Methode durch Assimilationsversuche in den Strahlen des objectiven Spectrums nachzuweisen, dürfte äusserst schwierig sein. Um nun diesen Gegensatz augenfällig zu machen, habe ich im Juli 1871 folgenden einfachen Versuch angestellt.

In einer Anzahl Blumentöpfen wurden Bohnenpflanzen (sog. Ackerbohnen) erzogen. Zwei derselben, welche möglichst gleich waren, jede mit vier völlig entwickelten Blättern und mehreren noch unentwickelten Blättchen, beide gleich kräftig, wurden unter würfelförmigen Käfigen, deren Wände und Decken durch in Nuthen eingeschobene Glastafeln gebildet waren, vor ein Fenster gestellt, an welches Vormittags einige Stunden lang die Sonne schien, und daselbst eine Woche lang stehen gelassen.

Jede Wand des einen Käfigs bestand aus einem blauen Kobaltglas und einem rothen Kupferoxydulglas, beide übereinandergeschoben. Die Combination dieser beiden farbigen Gläser lässt, wie ich früher[1]) gezeigt habe, nur das äussere Roth von *A* bis *B* durch.

Die Wände des zweiten Käfigs bestanden ebenso aus je einer rothen und einer violetten Glastafel; durch sie konnte nur das mittlere Roth in merklicher Stärke hindurchgehen.

Beide Gläsercombinationen waren von so dunkler Nuance, dass man von aussen die unter den Käfigen stehenden Pflanzen kaum sehen konnte; die zweite war jedoch ein wenig heller; mit dem Thermomultiplicator geprüft, zeigten sie nur einen sehr geringen Unterschied in ihrer Durchlässigkeit für Wärmestrahlen, und zwar ebenfalls zu Gunsten der zweiten.

Die erste Bohnenpflanze befand sich demnach unter der Einwirkung

1) Erythroscop und Melanoscop; Oec. Fortschr. 1871 Nr. 6. Repertorium VII. p. 154.

Digitized by Google

der äusseren, die zweite unter der Einwirkung der mittleren rothen Strahlen.

Nach Verlauf einer Woche zeigte sich die erste Pflanze in ihrem Wachsthum zurückgeblieben und vollständig vergilbt; die jungen Blättchen hatten sich nicht weiter entwickelt, sondern hatten noch dieselbe Grösse wie bei Anfang des Versuchs.

Die zweite Pflanze dagegen war bis zur Decke ihres Käfigs emporgewachsen, ihre Blätter waren kräftig grün, die jungen Blättchen hatten sich ausgebreitet bis zur doppelten Grösse. Die Pflanze unterschied sich in nichts von ihren gleichartigen Schwestern, welche unterdessen dem diffusen Tageslicht ausgesetzt gewesen waren.

Dieser einfache Versuch zeigt, dass die mittleren rothen Strahlen für sich allein schon das Wachsthum einer Pflanze unterhalten können, die äussern rothen Strahlen aber hiezu unfähig sind.

Er zeigt ferner, dass es bei dieser Wirkung durchaus nicht auf die Leuchtkraft (denn jenes Roth war sehr dunkel), d. i. auf die im menschlichen Auge erregte Stärke der Empfindung, sondern einzig auf die richtige Qualität der Strahlen ankommt.

Erlangen, im December 1871.

Digitized by Google

Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen.

Von

Victor v. Lang.

(Wiener Sitzungsberichte LXIII. p. 666.)

1. Die Beziehung zwischen dem Bildgrössenverhältnisse zweier conjungirter Puncte und den Winkeln, die ein durch diese Puncte gehender Lichtstrahl mit der Axe bildet, lässt sich für eine brechende Kugelfläche leicht beweisen und dann unmittelbar auf eine beliebige Anzahl centrirter Kugelflächen übertragen. Ich will nun zeigen, wie dieser Satz auch zur Ableitung der übrigen Beziehungen genügt, so dass auf diese Weise die von Helmholtz in seiner physiologischen Optik gegebene Darstellung dieses Problems beträchtlich vereinfacht wird. Zugleich ergeben sich hiebei auch unmittelbar einige der erst jüngst von Töpler[1]) für solche Systeme abgeleiteten Sätze. Der Vollständigkeit wegen will ich in aller Kürze mit einer brechenden Kugelfläche beginnen.

2. Es sei o der Mittelpunct der brechenden Kugelfläche vom Radius r; ein Lichtstrahl, der vom Puncte s des ersten Mediums ausgeht, treffe die Kugelfläche in c, die Axe po aber nach der Brechung in t. Sind dann n_1, n_2 die Brechungsquotienten der beiden Medien, so hat man

$$(1) \qquad \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin sco}{\sin tco} = \frac{\sin sco}{\sin cos} \cdot \frac{\sin cot}{\sin tco} = \frac{so}{sc} \cdot \frac{ct}{ot}.$$

Vernachlässigt man nun zweite und höhere Potenzen des Bogens cb, so wird cb senkrecht zu st und die letzte Gleichung gibt, wenn man noch zur Abkürzung $so = g_1$, $ot = g_2$ setzt

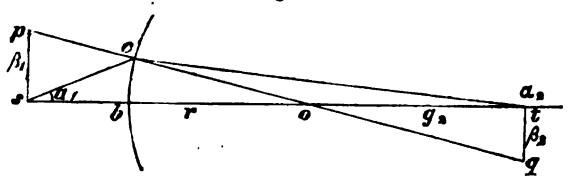
$$(2) \qquad \frac{n_2}{n_1} = \frac{so}{ot} \cdot \frac{sb}{bt} = \frac{g_1}{g_2} \cdot \frac{g_2 + r}{g_1 - r}$$

---

1) Pogg. Annal. Bd. 142, S. 232.

Digitized by Google

Fig. 1.



oder auch

$$\frac{n_2}{g_1} = \frac{n_1}{g_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}. \tag{3}$$

3. Sind p, q die Durchschnitte der in den Puncten s, t zur Axe st senkrechten Ebenen mit der Geraden co, so gibt Gleichung (3), wenn man sie mit der Relation $\cos pos = 1$ multiplicirt

$$\frac{n_2}{po} = \frac{n_1}{oq} = \frac{n_2 - n_1}{r}. \tag{4}$$

Die Puncte p und q sind also ebenfalls conjugirt.

4. Durch die Puncte p, q kann das constante Grössenverhältniss $\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)$ von Object und Bild für die conjugirten Puncte s, t gefunden werden. Es ist mit Rücksicht auf Gleichung (2)

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{ps}{-qt} = -\frac{po}{ob} = -\frac{g_1}{g_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad \frac{g_1 - r}{g_2 + r} = -\frac{n_2}{n_1}\frac{sb}{bt}.$$

Nennen wir nun α_1 und α_2 die Winkel, welche der Lichtstrahl sct vor und nach der Brechung mit der Axe immer in demselben Sinne gerechnet bildet, so ist bei der eingeführten Näherung

$$sb = \frac{bc}{\tan \alpha_1}, \quad bt = \frac{bc}{\tan (180 - \alpha_2)}$$

und daher

$$\beta_1 n_1 \tan \alpha_1 = \beta_2 n_2 \tan \alpha_2. \tag{5}$$

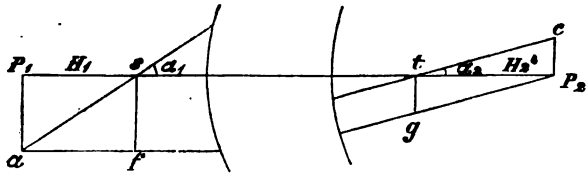
5. Hat man ein ganzes System brechender Kugelflächen, so gilt die letzte Gleichung für jede einzelne Fläche, so dass bei der Addition dieser Gleichungen sich alle Glieder bis auf das erste und letzte aufheben. Die Gleichung (5) gilt also auch für eine beliebige Anzahl centrirter Kugelflächen und es beziehen sich die Indices 1 und 2 dann auf das erste und letzte Medium. Kennt man nun für ein solches System die Lage zweier conjugirter Puncte, ihr Bildgrössenverhältniss (β_1, β_2) und auch noch die Lage der beiden Brennpuncte (P_1, P_2), d. i. der Puncte, wo das Bildgrössenverhältniss 0 und ∞ wird, so kann

Digitized by Google

man immer den Gang eines Lichtstrahles im letzten Medium angeben, wenn dessen Gang im ersten bekannt ist. Man kann so auch immer zu irgend einem leuchtenden Punct im ersten Medium sein Bild im letzten construiren.

6. Eine Beziehung zwischen den Grössen der Gleichung (5) und den Brennpuncten ergibt sich auf folgende Art. Ein Strahl, der durch die conjugirten Puncte s, t des ersten und letzten Mediums unter den Winkeln α_1, α_2 zur Axe st hindurchgeht, schneide im ersten Medium die erste Brennebene in d, im letzten Medium die zweite Brennebene in e. Zieht man dann den Strahl df parallel zur Axe, so muss derselbe natürlich im letzten Medium durch den zweiten Brennpunct P_2 hindurchgehen und muss parallel dem Strahle te sein, da ja beide durch denselben Punct d der ersten Brennebene hindurchgehen.

Fig. 2.



Schneidet nun der Strahl df die Ebene s im Puncte f und nach der letzten Brechung die Ebene t im Puncte g, so sind auch f und g conjugirte Puncte und es ist daher, wenn $\beta_1 : \beta_2$ das Bildgrössenverhältniss für die Puncte s, t bedeutet

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{fs}{gt} = \frac{dP_1}{eP_2} = \frac{P_1 s \,.\, \tan\alpha_1}{tP_2 \,.\, \tan\alpha_2}.$$

Setzen wir nun zur Abkürzung $P_1 s = H_1$, $tP_2 = H_2$, so ist mit Rücksicht auf Gleichung (5)

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{H_1}{H_2}\,\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = \frac{H_1}{H_2}\cdot\frac{n_2\,\beta_2}{n_1\,\beta_1}$$

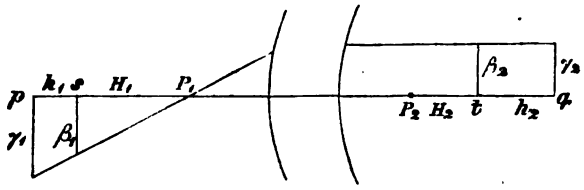
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = -\sqrt{\frac{H_1}{H_2}\,\frac{n_2}{n_1}} \tag{6}$$

$$\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = -\sqrt{\frac{H_2}{H_1}\,\frac{n_2}{n_1}}, \tag{7}$$

da hier, wie aus dem speciellen Falle einer Kugelfläche hervorgeht, die Wurzel mit negativem Zeichen zu nehmen ist.

Digitized by Google

Fig. 3.



7. Aus Gleichung (6) leitet man nun leicht die bekannte Beziehung zwischen zwei paar conjugirter Puncte und den Brennpuncten ab. Es seien auf der Axe des Systems s, t zwei conjugirte Puncte mit dem Grössenverhältniss $\beta_1 : \beta_2$ und den Brennpunctentfernungen H_1, H_2, ferner p, q zwei andere solche Puncte mit dem Grössenverhältniss $\gamma_1 : \gamma_2$ und den Brennpunctentfernungen l_1, l_2. Wir ziehen nun durch den ersten Brennpunct P_1 einen Strahl, welcher die Ebenen s, p in den Entfernungen β_1 und γ_1 treffen soll. Dieser Strahl muss nach der letzten Brechung parallel der Axe sein; trifft er daher die Ebenen t, q in den Entfernungen β_2 und γ_2, so muss $\beta_2 = \gamma_2$ sein. Demzufolge geben die beiden Gleichungen

$$\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^2 = \frac{H_1}{H_2}\frac{n_2}{n_1}, \quad \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)^2 = \frac{l_1}{l_2}\frac{n_2}{n_1}$$

durch Division

$$\left(\frac{\gamma_1}{\beta_2}\right)^2 = \frac{H_2}{H_1}\frac{l_1}{l_2};$$

dann ist aber unserer Annahme zufolge

$$\frac{\gamma_1}{\beta_1} = \frac{l_1}{H_1}$$

und daher schliesslich

$$H_1 H_2 = l_1 l_2. \tag{8}$$

Nennt man die Entfernungen der Puncte p, q von s, t etwa h_1, h_2 und rechnet alle Entfernung im ersten Medium von s entgegengesetzt der Lichtbewegung im letzten Medium von t parallel derselben, so hat man statt der letzten Gleichung

$$H_1 H_2 = (h_1 - H_1)\ (h_2 - H_2),$$

woraus leicht

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \tag{9}$$

folgt.

Digitized by Google

Aus der Gleichung (9) erhält man

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{h_1 - H_1}{H_2}$$

und somit, wenn die Puncte p, q unendlich nahe an s, t liegen,

$$\lim \left[\frac{h_1}{h_2}\right] = -\frac{H_1}{H_2}. \tag{10}$$

welchen Ausdruck Töpler „das Bildgrössenverhältniss der Tiefendimensionen" für die Puncte s, t nennt. Die Division der Gleichungen (10) und (6) gibt aber mit Rücksicht auf Gleichung (7) für das „Verhältniss der räumlichen Verzerrung"

$$W = \left[\frac{h_1}{h_2}\right] = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1}. \tag{11}$$

Der Ausdruck (10) gibt auch die sogenannte „Focaltiefe"; hat nämlich dieser Ausdruck einen grossen Werth, so werden im Puncte t auch noch Puncte ziemlich gut abgebildet, die vor oder hinter dem Punct s liegen. Bei der eingeführten Näherung lässt sich aber die Focaltiefe nicht unabhängig von dem Bildgrössenverhältniss (β_1, β_2) ändern.

8. In der früher erwähnten Bildconstruction ist es natürlich zweckmässig, solche Puncte s, r zu wählen, für welche entweder das Verhältniss $\frac{\beta_1}{\beta_2}$ oder das Verhältniss $\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$ ein einfaches wird. Setzt man $\frac{\beta_1}{\beta_2} = 1$, so erhält man die sogenannten Hauptpuncte, von welchen die Brennpuncte um die Grössen F_1, F_2, die sogenannten Hauptbrennweiten, entfernt sein sollen. Die Gleichung (6) wird also in diesem Falle

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1}{n_2}. \tag{12}$$

Für den allgemeinen Fall hat man aber jetzt

$$\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^2 = \frac{H_1 F_2}{H_2 F_1}$$

und da zufolge Gleichung (8) auch

$$H_1 H_2 = F_1 F_2$$

sein muss:

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = -\frac{H_1}{F_1} = -\frac{F_2}{H_2}, \tag{13}$$

Digitized by Google

$$\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = -\frac{F_2}{H_1}, \quad = -\frac{H_2}{F_1}, \tag{14}$$

Diese Gleichungen lehren unter anderm, dass, wenn die conjugirten Puncte p, q mit den Puncten s, r gleiches, aber entgegengesetztes Bildgrössenverhältniss haben, die Puncte p, q symmetrisch mit s, r gegen die Brennpuncte liegen; auch ist für beide Punctpaare das Verhältniss $\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2}$ gleich und entgegengesetzt.

Geht dagegen für die Puncte p, q das Bildgrössenverhältniss v über in v', so gibt die Gleichung (13) nach der früheren Bezeichnung

$$\begin{cases} h_1 = F_1\,(v - v') \\ h_2 = F_2\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v'}\right), \end{cases} \tag{15}$$

welche Gleichungen, wie Töpler gezeigt hat, zur Bestimmung der Brennweiten verwendet werden können.

Den positiven Hauptpuncten entsprechen zwei negative, für welche das Bildgrössenverhältniss gleich -1 wird, und die, nach dem eben Gesagten, gegen die Brennpuncte die entgegengesetzte Lage der positiven Hauptpuncte haben.

9. Die Puncte, für welche $\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = 1$ wird, nennt man die Knotenpuncte. Sind G_1, G_2 die Entfernungen der Brennpuncte von den Knotenpuncten, so geben die Gleichungen (13) sogleich

$$G_2 = F_1, \; G_1 = F_2;$$

es liegen also die Knotenpuncte symmetrisch mit den Hauptpuncten gegen die Brennpuncte. Den positiven Knotenpuncten entsprechen wieder zwei negative, mit entgegengesetzter Lage gegen die Brennpuncte, für welche $\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = -1$ ist.

Digitized by Google

Compensationsgalvanometer für Messungen nach absolutem Maasse.

Von

M. Th. Edelmann,

Assistent am Polytechnicum München und Inhaber eines physic.-mechan. Institutes.

(Hiezu Tafel IV und V.)

I. Theorie und Einrichtung des Instrumentes.

Vor einiger Zeit wurde in meiner Werkstätte ein Instrument bestellt, das eine bequeme Messung nach absolutem Maasse von Strömen der verschiedensten Intensitäten gestatten sollte, wie sie bei der Electrolyse, Galvanoplastik, Telegraphie und anderen technischen Verwendungen vorkommen können.

Um die absolute Intensität von Strömen zu bestimmen, könnte man zwar nächst dem Voltameter und dem Galvanometer für absolute Messung auch irgend ein Galvanometer benützen, dessen Constante in Bezug auf absolutes Maass vorerst bestimmt worden wäre. — Das erste Instrument (Voltameter) gestattet jedoch eine Maassabnahme erst dann, wenn das Ganze oder doch ein Theil der Arbeit, die der Strom verrichten soll (Electrolyse, Galvonoplastik etc.) schon geschehen ist, und theilt, wenn der Strom nicht constant ist, nur einen Durchschnittswerth mit, was nicht unter allen Umständen erwünscht ist, z. B. dann nicht, wenn eine bestimmte Stromstärke von vorne herein für irgend eine Arbeit beabsichtigt sein sollte.

Galvanometer für absolute Messung sind aber bis jetzt wenig verbreitet (indem sie erst anfangen, allgemeinere Anwendung in den physikalischen Laboratorien zu finden), erfordern vor Allem einen nicht geringen Grad von physikalischer Praxis und noch dazu eine ganze Menge von Hilfsapparaten; es lassen sich eben Arbeiten mit dem Galvanometer für absolute Messung nur in vollständiger ausgerüsteten physik. Cabineten ausführen und zwar ohne bedeutenden Zeitaufwand nur da, wo es genug Platz gibt, die Messapparate an dem Orte, wo

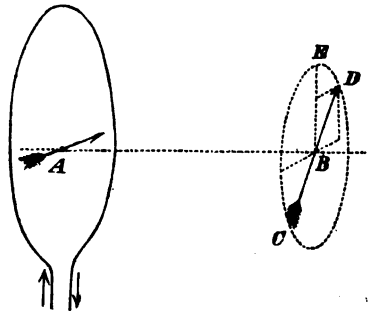
Digitized by Google

sie einmal mit Sorgfalt aufgestellt wurden, stehen lassen zu können. So viel Raum ist indessen in Lehranstalten bis jetzt meist frommer Wunsch, in Telegraphen-Bureaux, chemisch-technischen Laboratorien u. s. w. — wenigstens für Solches — wol nirgends zu finden.

Einfache Galvanometer endlich leiden dann, wenn sie Spiegelgalvanometer sind, an denselben eben angedeuteten misslichen Umständen, und, wenn sie solche sind, bei welchen der Stand der Nadel an einer Gradtheilung abgelesen wird, an Unempfindlichkeit und Fehlern wegen der Parallelaxe. Beide gestatten nicht genügenden Umfang der Genauigkeit und Einfachheit der Messung aller vorkommenden Intensitäten. Aus diesen Gründen war ich veranlasst, nach einem anderen Mittel zu suchen.

v. Feilitzsch hat in Pogg. Ann. LXXVIII, 21 und LXXIX, 564 eine in angedeuteter Hinsicht sehr werthvolle Messmethode angegeben, welche sich darauf gründet, die Ablenkung, welche der Strom an einer Magnetnadel hervorbringt, durch einen passend gelegten Magnetstab wieder aufzuheben, und dann aus der Entfernung dieses Stabes, dessen magnetischem Momente etc. einen Schluss auf die Intentisät des Stromes zu machen. Es setzt diese Arbeit jedoch einen ganz regelmässig magnetisirten Magnetstab und eine genaue Kenntniss der Vertheilung des freien Magnetismus in diesem Stabe voraus: Dinge, die uns nur in den wenigsten Fällen practisch erreichbar sind.

Unvergleichlich günstiger wird indessen die Sache, wenn man zwar die Compensation der Stromeswirkung durch den Magnetstab beibehält, letzteren aber in solchen Lagen gegen die Magnetnadel verwendet, wie sie in der Folge angegeben werden sollen.



Man legt durch den Mittelpunct A (nebenstehende Figur) einer im Inneren einer Drahtrolle freischwingenden Magnetnadel eine horizontale, in dem magnetischen Meridiane fallende Gerade AB, und bringt nun einen Magnetstab (ich will ihn von nun ab Compensator nennen) in eine solche Lage, dass seine Axe CD diese Gerade schneidet. (Ich habe bei meinem Instrument den Compensator möglichst senkrecht auf diese Gerade gestellt und zwar so, dass der Mittelpunct B des Compensators von der genannten Geraden AB getroffen wird.) Wird nun der Com-

Digitized by Google

pensator in seiner Entfernung von der Nadel festgehalten und um die Gerade AB als Axe gedreht, so wird dann, wenn die magnetische Axe des Compensators in die durch AB liegende Verticalebene, fällt, keine Einwirkung desselben auf die Nadel erfolgen können — wenn CD in einer Horizontalebene durch AB liegt, die grösste; bei anderen Lagen des Compensators wird eine Einwirkung auf die Nadel jener Componente entsprechen, welche durch Projection seiner Totalkraft auf die Horizonalebene ACD erhalten wird; es wird also seine compensirende Kraft in den verschiedenen Lagen proportional dem Sinus des Drehungswinkels (aus der Verticalebene ABE heraus) sein. Dies findet in aller irgend wünschenswerthen Genauigkeit statt, weil die Magnetnadel durch die einander entgegenwirkenden Kräfte von Strom und Compensator fortwährend im magnetischen Meridian (also in stets gleicher Lage zu den Theilen des Instruments) erhalten wird und sich die gegenseitigen Entfernungen der Molekularmagnete von Nadel und Compensator unter gegebenen Umständen durch die Drehung des Stabes nicht wesentlich ändern. Eine solche Aenderung wird theoretisch dann nicht stattfinden, wenn die Magnetnadel so beschaffen ist, dass sich um ihre genau horizontal liegende Axe der Magnetismus in jedem Querschnitt gleichmässig vertheilt. Ich habe mich jedoch durch Versuche überzeugt, dass jede Form der sonst in Galvanometern gebräuchlichen Nadeln ohne Nachtheil hier verwandt werden kann, was wegen der Dämpfung der Nadel von grossem Belang ist.

Um mit einer solchen Zusammenstellung ganz verschiedene Stromintensitäten messen zu können, habe ich das nach oben ausgesprochenem Princip angelegte Instrument so eingerichtet, dass man in der Drahtspirale verschiedene Windungszahlen (im Verhältnisse 1 : 2 : 3) benützen, die Entfernungen des Compensators variiren und ferner zur Erhöhung der Empfindlichkeit dem Instrumente einen den Erdmagnetismus abschwächenden Magneten anfügen kann.

Da endlich die Ablesung mit Fernrohr und Scale durch eigenthümlich eingerichtete Spiegelung umgangen ist, so wird man das Instrument, wenn man die Bestimmungen seiner Constanten einmal gemacht hat, unabhängig von anderen Instrumenten gebrauchen können, eine Eigenschaft, die überhaupt für Messinstrumente erwünscht ist.

Digitized by Google

II. Mechanik des Compensationsgalvanometers.

(Fig. I Vorderansicht und theilweise Durchschnitt, Fig. II Seitenansicht, Fig. III Ansicht von Oben.)

Der Lagerkörper des Instrumentes (selbstverständlich ist Alles mit Ausnahme der Magnete von eisenfreiem Messing) besteht zunächst aus einem Winkelstück A, dem in dasselbe eingeschraubten Cylinder B und dem an letzteren mit Conus E und Klemmmutter D angesteckten und festgehaltenen Zweifuss C. — In A ist der Bolzen F eingeschraubt, dessen Höhe und Sicherung durch Mutter G gegeben ist. Auf F und den beiden in den Zweifuss C (Fig. 4) eingeschraubten Stellschrauben ruht das ganze Instrument. Bolzen F ist oben conisch abgedacht und ist auf ihn die Kupferrolle H (festgehalten durch Schraube f, die mit ihrer Spitze in eine Rinne eingreift) aufgesteckt, welche die Drahtwindungen und die von ihr mittelst Hartgummi isolirten Klemmschrauben I und K aufnimmt und zugleich als Dämpfer der Magnetnadel dient. — Oben ist in dem Dämpfer ein Schlitz ausgearbeitet, durch welchen der als Magnetnadel dienende Magnetring X in dem Dämpfer hinabgelassen werden kann. Dieser Schlitz wird durch die mit zwei Schrauben zu befestigende Aufhängvorrichtung des Coconfadens geschlossen.

Ueber den schon erwähnten Cylinder B ist eine Röhre L gesteckt, welche an den Conus M des Cylinders B anläuft, durch die Spiralfeder N gegen den Conus M gedrückt wird und ausser durch M auch noch durch die conisch einlaufende Zwischenlage n eine genau zur Axe von B centrische Führung bekömmt. Auf dieser Röhre, welche den Compensator O (Fig. 2 im Detail) trägt, sitzt auch die Trommel P, welche auf ihrem Rande die Kreistheilung trägt und ausserdem den zum Drehen dieses Mechanikconnexes bestimmten Handgriff Q.

Das Winkelstück A trägt nach vorn einen Ansatz R, auf welchem die Nonius S und das Winkelblech T (in allen Lagen durch die Fig. 6, 7, 8 gegeben) befestigt ist. T ist um die Schraube a drehbar, während Schraube b, die in einem Schlitze von T läuft, die Höhe des Winkels T hält.

Der Magnetring X ist innen ausgedreht und nimmt den Spiegel c auf. Der Dämpfer H ist beiderseits durch planparallele Glasplatten verschlossen, von denen die gegen das Winkelblech T zu befindliche auf der oberen Hälfte als Spiegel belegt ist. Auch der Spiegel des

Digitized by Google

Magnetringes spiegelt nach dieser Seite. Wird durch das Loch *d* in dem Winkel *T* hindurchgesehen, so sieht man die beiden Spiegel *U* und *c* (Fig. 9), welche den auf der Innenseite des Winkels *T* (mit Papier beklebt) befindlichen Strich *e* spiegeln. Durch die Coïncidenz dieser beiden Spiegelbilder ist man im Stande:

1. Wenn der Compensator *O* abgenommen ist, durch Verschieben des Instruments beide Bilder sich decken zu lassen, dadurch beide Spiegel parallel zu stellen und damit die Lage des Instruments parallel zum magnetischen Meridiane zu berichtigen.

2. Ist dies geschehen und der Compensator *O* wieder aufgesteckt, so wird durch Verdrehung desselben, bis beide Spiegel wieder parallel sind, die Verticalstellung der Axe des Magnets *O* gesucht und hiedurch der Nullpunct der Theilung fixirt.

3. Es dient diese Stellung als Index bei der Zurückführung der Galvanometernadel in den magnetischen Meridian, wenn die Nadel durch einen Strom abgelenkt und diese Ablenkung durch den Kompensator wieder aufgehoben werden soll.

Der Magnetring *X* trägt nach abwärts genau in der Drehungsaxe desselben eine Spitze und eine ebensolche nach aufwärts der bis in das Magnetgehäuse hineinreichende Bolzen *F* (Fig. 1). Durch die Stellschrauben des Instruments und durch die Aufhängvorrichtung des Coconfadens können beide Spitzen genau über einander verlegt werden, wodurch die Verticalstellung des Instruments, sowie die Entfernung der Magnetnadel von dem Compensator berichtigt und eingestellt werden kann. Diese Einrichtung und deren sorgfältige Benützung ist selbstverständlich für die Mechanik des Instrumentes und die Genauigkeit der Messungen mit demselben vor Allem von ausserordentlichem Belang.

Was die in dem Dämpfer eingelegten Drahtwindungen betrifft, so steht deren eines Ende mit dem Metall des Instrumentes, also auch mit der an dem Bolzen *F* angebrachten Klemmschraube in leitender Verbindung; von da aus geht der Strom durch $^1/_3$ der Windungen nach *I*; von da durch die übrigen $^2/_3$ nach Klemmschraube *K*. Dadurch ist man, je nachdem man die Klemmschrauben *F* und *I*, *I* und *K*, *F* und *K* für die Stromleitung benützt, im Stande, Windungszahlen im Verhältniss 1 : 2 : 3 zur Einwirkung auf die Nadel zu bringen.

Die Einrichtung zum Festklemmen des Compensators auf der denselben tragenden Röhre ist aus der Detailzeichnung Fig. 5 ersichtlich

Digitized by Google

und ist noch zu bemerken, dass auf der Röhre L 3 Marken eingerissen sind, auf welche der Compensator mit einem Rande eingestellt werden kann. — Z (Fig. 1, 2 u. 10) ist der die Richtkraft des Erdmagnetismus abschwächende Magnetstab, der auf die Röhre der Fadensuspension geklemmt wird, endlich W dem Winkel T als Gegengewicht dienend.

III. Versuche mit dem Compensationsgalvanometer, Bestimmung der Constanten.

Es wurden in denselben Stromkreis eingefügt 2 mittelgrosse Grove'sche Elemente, ein Rühmkorff'scher Commutator, eine gewöhnliche Tangentenbussole (Spiegelgalvanometer nach Wiedemann), eine kleinere Siemens'sche Widerstandssäule, ein Rheochord und das Compensationsgalvanometer, welches dem chemisch-tech. Laboratorium des Herrn Prof. Dr. Stölzel am hiesigen Polytechnikum angehört. — Die Grove'schen Elemente werden $^1/_2$ Stunde vor den Versuchen zusammengestellt; die Thoncylinder lagen seit einem Tage in verdünnter Schwefelsäure, worauf sich der Strom als ausgezeichnet constant erwies.

Das Compensationsgalvanometer wurde durch Coincidenz der Bilder in die Ebene des magnetischen Meridians gebracht, der Compensator daraufgesetzt, und die Bilder wieder zur Deckung gebracht. Wurde nun der Compensator um 180° herumgedreht, so zeigte sich wieder eine vollständige Coincidenz der Bilder, was die richtige Lage des Instrumentes im magnetischen Meridiane, sowie der einzelnen Theile desselben zu einander bestätigte, endlich beweist, dass keine störenden äusseren Einflüsse vorhanden sind.

Die ganze Zusammenstellung war in der Nähe der mittleren Zeit-Uhr aufgestellt, um bei Bestimmung der Constanten mit Hilfe des Silbervoltameter die Dauer der Electrolyse genau messen zu können.

Zunächst wurde die Proportionalität zwischen der Stromintensität und dem Sinus des Winkels untersucht, um welchen der Compensator aus seiner Verticalstellung gedreht werden musste, bis die Coincidenz der Bilder wieder hergestellt wurde. Um dies zu erreichen, wurde zugleich mit der Tangentenbussole gemessen und die Intensität mit Hilfe der Widerstandssäule variirt. Ich theile hier beispielsweise eine Versuchsreihe mit, wobei der Compensator auf der mittleren Marke stund und alle Windungen eingeschaltet waren.

Digitized by Google

Es wurde erhalten

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Ablesung am Compensationsgalvanometer .	2° 3′	4° 24′	5° 6′	12° 24′	12° 36′	27° 18′	51° 48′	73° 0′
2. log. sinus dieses Drehungswinkels α	8,657	8,385	8,949	9,332	9,339	9,661	9,895	9,981
3. Ablesung an der Tangentenbussole.	10,40	17,62	20,33	48,98	50,01	105,21	179,94	220,37
4. $\log a \operatorname{tg} 2\beta$	1,017	1,246	1,308	1,690	1,699	2,022	2,255	2,343
5. $\log \frac{a \operatorname{tg} 2\beta}{\sin \alpha}$	2,360	2,361	2,359	2,358	2,360	2,361	2,360	2,362
6. $\frac{a \operatorname{tg} 2\beta}{\sin \alpha}$	229,1	229,7	228,6	228,1	229,1	229,7	229,1	230,2
7. Mittel dieser Quotienten.	229,2							
8. Differenzen	− 0,1	+ 0,7	− 0,6	− 1,1	− 0,1	+ 0,5	− 0,5	+ 1,0

Auf der den Compensator tragenden Messingröhre sind, wie schon oben bemerkt, 3 Marken angebracht, auf welche der Compensator eingestellt wird. Ich will die grösste Entfernung als Stellung 1) bezeichnen, die Folgenden mit St. 2) und St. 3). Ferner will ich, wenn alle Windungen verwandt sind, dies mit W. III.), ebenso, wenn $^2/_3$ oder $^1/_3$ der Windungen eingeschaltet sind, mit W. II) und W. I) benennen. — Bezeichnet man weiter die absolute Stromintensität mit J; eine Constante, welche von der Entfernung des Compensators abhängt, mit a_{st}; eine weitere Constante in Bezug auf die Anzahl der verwandten Windungen mit b_w; eine dritte Constante, welche von der Wahl der Einheit abhängt, mit c; endlich mit α den Drehungswinkel des Compensators, so ist

$$J = a_{st} \cdot b_w \cdot c \cdot \sin \alpha$$

Die nächste Aufgabe wird nun sein, die Constanten a_{st} und b_w zu bestimmen. Zu diesem Behufe leitet man einen vermittelst Widerstandssäule, Rheochord und Wiedemann'schen Galvanometers constant erhaltenen Strom durch das Instrument, wobei in einer Versuchsreihe bei den verschiedenen Magnetstellungen und der Windungszahl W. III) die Coincidenz eintrat.

Digitized by Google

	log. sin.
St. 1) bei 55,9°	9,918
St. 2) bei 21.1	9,555
St. 3) bei 6,2	9,032

Dagegen werde bei St. 1) die Coincidenz erreicht

W. III) bei 55,9°	9,918
W. II) bei 35,8	9,767
W. I) bei 15,6	9,416
	(Durchschnittszahlen aus 7 Versuchen.)

Wird mit den Sinusen dieser Winkel in die Einheit dividirt, so erhält man Zahlen, welche Proportionale von Producten der Constanten a^{st} und b^{w} unter sich sind, weil sie aus Ablesungen für dieselbe Intensität bei verschiedenen Combinationen von Magnetstellung und Windungszahl entsprungen sind. Diese Proportionalen also sind, wenn man die oben eingeführte Bezeichnung verwendet:

	log. $a.b$
$a_{st.1)} \cdot b_{w.III)} = 1{,}206$	0,0818
$a_{st.2)} \cdot b_{w.III)} = 2{,}788$	0,4454
$a_{st.3)} \cdot b_{w.III)} = 9{,}297$	0,9683
$a_{st.1)} \cdot b_{w.III)} = 1{,}206$	0,0818
$a_{st.1)} \cdot b_{w.II)} = 1{,}711$	0,2332
$a_{st.1)} \cdot b_{w.I)} = 3{,}836$	0,5839

Noch übersichtlicher werden diese Zahlen, wenn man von St. 1) und W. III) ausgeht und durch Division mit 1,206 $a_{st.1)} = b_{w\,III)} = 1$ macht; dann erhält man Proportionale der Constanten a und b unter sich:

	log.
$a_{st.1)} = 1$	0,0000
$a_{st.2)} = 2{,}309$	0,3636
$a_{st.3)} = 7{,}703$	0,8866
$b_{w\,III)} = 1$	0,0000
$b_{w\,II)} = 1{,}416$	0,1514
$b_{w\,I)} = 3{,}1779$	0,5021

Wenn man bei einer Combination, z. B. St. 1) und W. III) eine voltametrische Bestimmung macht, und im Silbervoltameter in t Minuten $d^{mgr.}$ Silber erhält, wobei der Compensator um α^0 zu drehen gewesen

Digitized by Google

wäre, so erhält man die Constante c in Bezug auf Silber aus der Gleichung

$$\frac{d}{t} = c \sin \alpha, \text{ also}$$

$$c = \frac{d}{t \sin \alpha}$$

(In diesen Formeln fallen, weil $\alpha_{st.\,I)} \cdot b_{w.\,III)} = 1$ ist, die Factoren a und b hinweg.)

In 4 Versuchen wurde erhalten in der Minute (die Versuche dauerten 15′)

	1.	2.	3.	4.
mgr. Silber d	0,796	1,003	1,337	1,941
$\log d$	0,901-1	0,001	0,126	0,288
α	12,7°	15,9°	22,6°	32,6°
$\log \sin \alpha$	9,342	9,437	9,581	0,731
$\log c$	0,559	0,564	0,545	0,557
c	3,63	3,67	3,51	3,61

Im Mittel $c = 3{,}605$ und $\log c = 0{,}5569$

Ist die Constante c in Bezug auf irgend eine Einheit gefunden worden, und soll auf eine andere Einheit umgerechnet werden, so kann hiezu folgende Tabelle (aus Kohlrausch's Leitfaden der practischen Physik entnommen) verwandt werden:

Eine Stromstärke, welche gemessen wurde in:	Ist mit folgenden Zahlen zu multipliciren, um ausgedrückt zu werden in:				
	Cub.-Cent. Knallgas in $1^{min.}$	Mgr. Wasser in $1^{min.}$	Mgr. Kupfer in $1^{min.}$	Mgr. Silber in $1^{min.}$	magnetischem Maasse.
Cub.-Cent. Knallgas in $1^{min.}$	—	0,5363	1,889	6,432	0,9579
Mgr. Wasser in $1^{min.}$	1,865	—	3,522	11,99	1,786
Mgr. Kupfer in $1^{min.}$	0,5294	0,2839	—	3,405	0,5071
Mgr. Silber in $1^{min.}$	0,1555	0,0834	0,2937	—	0,1489
Nach magnetischem Maasse	1,044	0,5599	1,972	6,714	—

Digitized by Google

Ich will nochmals in Kürze die Durchführung einer Messung angeben:

Man stelle das Instrument ohne Compensator an einem möglichst eisenfreien Orte auf und corrigire die Lage durch die Stellschrauben und Drehen um den Fuss F (Fig. 1) so, dass die Spitze am Spiegel und die Spitze am Bolzen F genau über einander liegen und ferner, durch d gesehen, die beiden Spiegelbilder der Marke im festen und beweglichen Spiegel sich decken, wie in Fig. 9 dargestellt ist. Hierauf wird der Compensator aufgesetzt und festgeschraubt, jedoch immer so, dass er in dieselbe Lage kommt, von welcher aus die Bestimmung der Constanten stattfand, z. B. die Befestigungsschrauben über der Axe B und westlich. — Dann wird mittels Drehen am Handgriff Q (Fig. 1) der Compensator noch so weit gedreht, bis die Coincidenz der Bilder eingetreten ist, und ein Winkel β abgelesen.

Leitet man nun durch irgend zwei Klemmschrauben des Instrumentes einen Strom ein, so wird durch weiteres Drehen an Q die verschwundene Coincidenz der Bilder wieder hergestellt; es werde jetzt der Winkel γ abgelesen. $\beta - \gamma$ ist dann der Drehungswinkel α des Compensators, dessen sinus aufgeschlagen ist. Wird dieser sinus mit den beiden Constanten, die sich auf die Magnetstellung und die verwandte Windungszahl beziehen, multiplicirt, als weiterer Factor die Constante c zugefügt, so erhält man entweder die Intensität nach absolutem electrodynamischen Maasse ausgedrückt, oder man erhält die Anzahl der in der Minute durch den Strom abgeschieden werdenden Cubiccentimeter Knallgas, Milligramme Wasser, Silber oder Kupfer, je nachdem sich c auf irgend eines der angegebenen Masseinheiten bezog.

Wollte man die Gesammtmenge irgend eines electrolytisch abgeschiedenen Stoffes kennen, so müsste man selbstverständlich das durch das Compensationsgalvanometer gefundene Resultat durch die chemischen Aequivalente auf diesen Stoff umrechnen und noch mit der Zeitdauer der Electrolyse (in Minuten) multipliciren.

Hätte man viele derartige Bestimmungen zu machen, so würde man durch Aufstellung einer Tabelle die Rechnung ganz vermeiden können; man kann sie schon sehr vereinfachen, wenn man die Producte der constanten Factoren a und b in ihren 9 möglichen Combinationen ein für allemal ausrechnet und dann den sinus des gefun-

Digitized by Google

denen Winkels je nach Compensatorstellung und Windungszahl mit einem dieser Producte multiplicirt.

Wird das Winkelblech T nach Lösen der Schraube b in die Höhe gedreht, dann in solcher Lage wieder festgeklemmt, die beiden das Magnetgehäuse verschliessenden Gläser vertauscht und der Compensator abgenommen, so kann das Instrument wie ein gewöhnliches Spiegelgalvanometer gebraucht werden.

Der Preis eines Compensations-Galvanometers stellt sich auf 80 fl. südd. W.

München den 15. Januar 1872.

Digitized by Google

Das kugelförmige Electrodynamometer.

Von

O. Frölich.

Das Elektrodynamometer von W. Weber besitzt bekanntlich vor dem Galvanometer den grossen Vorzug, dass es unabhängig ist von den Veränderungen des magnetischen Moments eines Körpers, sich also mit der Zeit beinahe gar nicht verändert. Zu diesem Vorzug kann leicht noch ein anderer, beinahe wichtigerer, hinzugefügt werden, die Unabhängigkeit vom Erdmagnetismus: denn, wenn die Bifilarrolle in zwei Hälften getheilt und die Stromrichtung in der einen Hälfte entgegengesetzt derjenigen in der anderen gemacht wird, so hebt sich die Wirkung des Erdmagnetismus auf; natürlich muss dann, damit bei Durchleitung der Ströme die Wirkung der Multiplicatorrolle sich nicht ebenfalls selbst aufhebe, diese letztere auch in zwei Hälften mit entgegengesetzter Stromrichtung getheilt werden. Durch dieses Mittel können jedoch alle electrodynamischen Messapparate, welche aus zwei mit Strömen bedeckten Flächen, einer festen und einer drehbaren, bestehen, unabhängig vom Erdmagnetismus gemacht werden, wenn nur der drehbare Theil symmetrische Gestalt hat in Bezug auf eine durch die Drehungsaxe gehende Ebene.

Ein Nachtheil, den das Weber'sche Electrodynamometer mit dem Galvanometer theilt, ist die complicirte Natur des Gesetzes, welches die sogenannte Multiplicatorfunction oder das von der Multiplicatorrolle ausgeübte Drehungsmoment befolgt; dieser Umstand ist zwar bei kleinen Ablenkungen, wenn Spiegelablesung angewendet wird, nicht störend, wohl aber bei grösseren, wenn die Ausschläge eines Zeigers auf einer Kreistheilung gemessen werden. Es wirft sich daher die Frage auf, ob man dem Elektrodynamometer nicht eine Form geben könne, in welcher die Multiplicatorfunction ein einfaches Gesetz befolge, so dass man dieselbe ohne Mühe theoretisch ableiten und ihre Form der empirischen Bestimmung am Apparate zu Grunde legen könne; ein solches Dynamometer würde dann den Vorzug der Unab-

Digitized by Google

hängigkeit von magnetischen Kräften mit denjenigen einer a priori für beliebig grossen Ausschlag bekannten Multiplicatorfunction verbinden, zwei Eigenschaften, welche keinem der gebräuchlichen Strommessungsapparate vereinigt zukommen.

Nun ist vorauszusehen, dass das Gesetz der Wirkung der Ströme aufeinander einfacher ausfallen wird, wenn die beiden mit Strömen bedeckten Flächen während der Drehung des einen ihre relative Lage nicht verändern, d. h. wenn beide Rotationsflächen sind, deren Axe zur Drehungsaxe gemacht wird, und wenn ferner für die beiden Flächen zwei ähnliche Rotationsflächen gewählt werden. Solche Instrumente haben dann noch den Vorzug, dass die beiden, mit Strömen bedeckten Flächen an allen Stellen beinahe zur Berührung gebracht werden können, und zwar bei jedem beliebigen Ausschlag; diese Eigenschaft, welche weder dem Galvanometer, noch dem Rollendynamometer zukommt, wird im Allgemeinen die Empfindlichkeit erhöhen.

Die einfachsten, nach dieser Vorschrift zu construirenden Electrodynamometer sind das cylindrische, das kegelförmige und das kugelförmige; die Form der einzelnen Ströme ist je die Durchschnittsfigur einer mit der Rotationsaxe parallelen Ebene mit der betreffenden Rotationsfläche, es nimmt daher der einzelne Umgang beim Cylinder die Gestalt eines Rechtecks, beim Kegel diejenige eines durch eine Gerade abgeschnittenen Hyperpelzweiges, bei der Kugel diejenige eines Kreises an. Es wäre keine uninteressante Aufgabe, die Theorie dieser drei einfachsten Rotationsdynamometer durchzuführen und sie unter sich hinsichtlich der Empfindlichkeit und der Form der Multiplicatorfunction zu vergleichen; es ist aber vor Allem auch die Verschiedenheit in den mechanischen Schwierigkeiten bei der Herstellung zu berücksichtigen. Da nun diese letzteren bei dem kugelförmigen wohl am geringsten sind, indem sich eine ganz einfache Construction für dasselbe angeben lässt, suchen wir im Folgenden die Theorie desselben aufzustellen, d. h. wir bestimmen das von der festen Stromfläche auf die drehbare ausgeübte Drehungsmoment und ziehen aus dem Resultat einige Schlüsse für die Anwendung des Instruments.

Was die gegenseitige Entfernung der einzelnen Stromkreise betrifft, so setzen wir voraus, dass auf beiden Kugeln die einzelnen Ströme in der Richtung der Axe, d. h. der durch die Mittelpunkte der Stromkreise gehenden Geraden (die zugleich senkrecht auf der Drehungsaxe steht), gleichweit von einander abstehen. In Bezug auf

Digitized by Google

die Stromrichtung betrachten wir beide Fälle, wenn die Ströme in den beiden Halbkugeln gleich, und wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind; im ersten Falle übt dann der Erdmagnetismus eine Wirkung aus.

Wir suchen nun vorerst das Potential der mit Strömen bedeckten, inneren Kugel auf einen äusseren Punct mit der magnetischen Masse m'.

Wenn man nach dem Ampère'schen Satz durch jeden Kreisstrom eine auf beiden Seiten mit magnetischer Masse belegte Kugelkappe (immer die kleinere von den beiden möglichen) legt, so ist bekanntlich die magnetische Belegung, wenn $\delta\nu$ die Dicke der Fläche und j die Stromstärke, $\frac{j}{\sqrt{2}}\frac{1}{\delta\nu}$; die Belege der einzelnen Ströme addiren sich und man erhält eine von den beiden Enden der Axe nach der Mitte zu abnehmende Doppelbelegung $m = \frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{1}{\delta\nu}\alpha R\cos\vartheta$ (abgesehen vom Zeichen), wenn α die Anzahl der Kreisströme, welche auf die Längeneinheit der Axe kommen, R der Radius der Kugel und ϑ der Winkel, den der nach dem Oberflächenelement gezogene Radius mit dem positiven Theil der Axe bildet. Wir nehmen die Belegung auf der Halbkugel $H^{(1)}$, welche den positiven Theil der Axe umschliesst, aussen positiv, innen negativ an, dann ist, wenn E die Entfernung des Oberflächenelements $d\omega$ von dem Punct m', das Potential derselben auf m':

$$H^{(1)}.m' = m'\int_{H^{(1)}}\left\{\frac{m.d\omega}{E} - m.d\omega\left(\frac{1}{E} - \delta\nu.\frac{d\frac{1}{E}}{dR}\right)\right\} = m'\int_{H^{(1)}} md\omega.\delta\nu.\frac{d\frac{1}{E}}{dR},$$

wo $\int_{H^{(1)}}$ eine Integration über die Oberfläche der Halbkugel $H^{(1)}$ bedeutet. Es sei nun r der vom Mittelpunct nach m' gezogene Radius Vector, φ der Winkel der durch die Axe und das Oberflächenelement gelegten Ebene mit der durch die Axe und r gelegten, ϑ' der Winkel, welchen r mit dem positiven Theil der Axe bildet, endlich $\mu = \cos\vartheta$, $\mu' = \cos\vartheta'$; dann ist

$$H^{(1)}.m' = m'\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\int_0^{2\pi}\int_0^1 R^3 d\varphi.\mu d\mu\frac{d\frac{1}{E}}{dR}, \text{ wo}$$

$$E = \sqrt{r^2 + R^2 - 2rR(\mu.\mu' + \sqrt{1-\mu^2}.\sqrt{1-\mu'^2}.\cos\varphi)}.$$

Digitized by Google

Wir entwickeln nach Kugelfunctionen und erhalten in bekannter Bezeichnung:

$$H^{(1)} \,.\, m' = m' \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{R^2}{r} \int_0^{2\pi} \int_0^1 d\varphi \,.\, d\mu \,.\, \mu \,.\, \sum_{n=0}^{\infty} n \left(\frac{R}{r}\right)^n \,.\, Q^n{}_{(\mu,\,\mu',\,\varphi)}$$

$$= m' \,.\, 2\pi \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{R^2}{r} \int_0^1 d\mu \,.\, \mu \,.\, \sum_{n=0}^{\infty} n \left(\frac{R}{r}\right)^n \,.\, P^n{}_{\mu} \,.\, P^n{}_{\mu'}.$$

Nun ist für ungerade n: $\int_0^1 d\mu \,.\, \mu \,.\, P^n{}_{\mu} = 0$, mit Ausnahme von $n = 1$,

indem $\int_0^1 d\mu \,.\, \mu \,.\, P'_{\mu} = \frac{1}{3}$, und für gerade n:

$$\int_0^1 d\mu \,.\, \mu \,.\, P^n{}_{\mu} = -(-1)^{\frac{n}{2}} \frac{p_n}{(n-1)\,(n+2)},$$

wo

$$p_n = \frac{1 \,.\, 3 \,.\, 5 \,.\, \ldots\ldots n-1}{2 \,.\, 4 \,.\, 6 \,.\, \ldots\ldots n};$$

es ist daher

$$H^{(1)} \,.\, m' = m' \,.\, 2\pi \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{R^2}{r} \left\{ \frac{1}{3} \frac{R}{r} \, P'_{\mu} \right.$$

$$\left. - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{2n}{(2n-1)\,(2n+2)} \, p_{2n} \left(\frac{R}{r}\right)^{2n} \,.\, P^{2n}_{\mu'} \right\}.$$

das constante Glied lassen wir, wie auch im Folgenden überall weg, weil es später bei der Bildung des Drehungsmomentes durch Differenziation doch wegfällt.

Das Potential $H^{(2)} \,.\, m'$ der anderen Halbkugel auf m' ist, wenn die Ströme in derselben entgegengesetzt gerichtet sind, (aussen positive, innen negative Belegung)

$$H^{(2)}\,(\mu') = H^{(1)}\,(-\mu'),$$

dagegen, wenn sie gleich gerichtet sind,

$$H^{(2)}\,(\mu') = H^{(1)}\,(-\mu'),$$

(aussen negative, innen positive Belegung); es ist also das Potential $K \,.\, m'$ der ganzen Kugel auf m' im Falle gleicher Stromrichtung

Digitized by Google

$$K.m' = m'.\frac{4\pi}{3}\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{R^3}{r^2}.P^1{}_{\mu'}$$

und im Falle entgegengesetzter Stromrichtung

$$K.m' = -m'.4\pi\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{R^2}{r}.\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\frac{2n}{(2n-1\,(2n+1)}p_{2n}.\left(\frac{R}{r}\right)^{2n}.P^{2n}_{\mu'}.$$

Um das Potential der inneren Kugel auf die äussere zu bestimmen, verwandeln wir die letztere, ähnlich wie die erstere, in zwei Halbkugeln mit von den Enden der Axe an abnehmender, doppelter magnetischer Belegung. Die Stromrichtung in der den positiven Theil ihrer Axe umschliessenden, äusseren Halbkugel sei dieselbe, wie in der entsprechenden inneren Halbkugel, diejenige in der zweiten Halbkugel entweder gleich oder entgegengesetzt. Wenn die Grössen m_1, R_1, μ_1, φ_1, $\delta\nu_1$, j_1, α_1 für die äussere Kugel dieselbe Bedeutung haben, wie m, R, μ, φ, $\delta\nu$, j, α für die innere, wenn ferner Θ der Winkel, den die beiden Axen mit einander bilden, und $M = \cos\Theta$, so ist das Potential der inneren Kugel auf die äussere im Falle gleicher Stromrichtung:

$$KK_1 = \int_{K_1}\{m_1.K(R_1) - m_1.K(R_1 - \delta\nu_1)\} = \delta\nu_1.\int_{K_1} m_1\left(\frac{dK}{dr}\right)_{R_1},$$

wo $\int_{K_1}$ eine Integration über die äussere Kugel bedeutet, und

$$KK_1 = -\frac{8\pi}{3}\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}}\frac{R^3}{R^3_1}\int_0^{2\pi}\int_{-1}^{+1}R^2_1.d\varphi_1.d\mu_1.R_1\mu_1.P'_{\mu'},$$

oder da

$$\mu' = \mu_1.M + \sqrt{1-\mu_1^2}.\sqrt{1-M^2}.\cos\varphi_1,$$

$$KK_1 = -\frac{16}{3}\pi^2\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}}R^3.\int_{-1}^{+1}d\mu_1.\mu_1.P^1{}_{\mu'_1}.P^1{}_M$$

$$= -\frac{32}{9}\pi^2\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}}R^3.P^1{}_M$$

$$= -\frac{32}{9}\pi^2\frac{j\alpha}{\sqrt{2}}\frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}}R^3.\cos\Theta.$$

Im Fall entgegengesetzter Stromrichtung haben beide Halbkugeln aussen positive, innen negative Belegung und das Potential der inneren Kugel auf die eine Halbkugel $H^{(1)}$ wird gleich demjenigen der inneren Kugel auf die andere äussere $H_1{}^{(2)}$, und man hat

Digitized by Google

$$KK_1 = \delta\nu \int_{K_1} m_1 \cdot \left(\frac{dK}{dr}\right)_{R_1} = 2 \cdot \delta\nu \int_{H_1^{(1)}} m_1 \cdot \left(\frac{dK}{dr}\right)_{R_1},$$

oder

$$KK_1 = 8\pi \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}} R^2 R_1 \int_0^{2\pi} \int_0^1 d\varphi_1 \cdot d\mu_1 \cdot \mu_1 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{2n\,(2n+1)}{(2n-1)\,(2n+2)} p_{2n} \cdot \left(\frac{R}{R_1}\right)^{2n} \cdot Q^{2n}_{(\mu_1 M_1 \varphi_1)}$$

oder

$$KK_1 = -16\pi^2 \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}} R^2 R_1 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n\,(2n+1)}{(2n-1)^2\,(2n+2)^2} p^2_{2n} \cdot \left(\frac{R}{R_1}\right)^{2n} \cdot P^{2n}_M.$$

Die negativen Differentialquotienten nach Θ dieser beiden Potentiale sind bekanntlich die Drehungsmomente, und man hat daher als Drehungsmoment bei gleicher Stromrichtung

$$M = -\frac{32}{9}\pi^2 \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}} R^3 \sin\Theta$$

und als Drehungsmoment bei entgegengesetzter Stromrichtung

$$M' = 16\pi^2 \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}} R^2 R_1 \cdot \sqrt{1-M^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n\,(2n+1)}{(2n-1)^2\,(2n+2)^2} p^2_{2n} \cdot \left(\frac{R}{R_1}\right)^{2n} \cdot \frac{dP^{2n}}{dM}$$

oder in Zahlen

$$M' = -4{,}5 \cdot \pi^2 \frac{j\alpha}{\sqrt{2}} \frac{j_1\alpha_1}{\sqrt{2}} \frac{R^4}{R_1} \sin\Theta \cdot \cos\Theta \left\{ \begin{array}{l} 1 + \\ + 0{,}07716 \left(\frac{R}{R_1}\right)^2 (7\cos^2\Theta - 3) + \\ + 0{,}01025 \left(\frac{R}{R_1}\right)^4 (77\cos^4\Theta - 70\cos^2\Theta + 11) + \\ + \ldots\ldots \end{array} \right.$$

Digitized by Google

Man kann nun auch, statt der Ableitung magnetische Kugelflächen von doppelter, wachsender Belegung zu Grunde zu legen, durch jeden Kreisstrom eine Ebene legen und nach dem Ampère'schen Satz ihn ersetzen durch ein mit Elementarströmen bedecktes Gebiet derselben, bei der innèren Kugel durch eine Kreisfläche, bei der äusseren durch eine unendliche Ebene mit kreisförmigem Ausschnitt, dann die über einander liegenden Elementarströme zu Solenoiden vereinigen und diese durch magnetische Pole ersetzen; man erhält auf diese Weise die beiden Kugeloberflächen, eine durch den Mittelpunct gelegte, senkrecht zu der Axe der inneren Kugel stehende Fläche eines grössten Kreises, eine entsprechende, senkrecht zu der Axe der äusseren Kugel stehende und durch den Mittelpunct gehende, unendliche Ebene mit kreisförmigem Ausschnitt und zwei an den Spitzen der Axe der äusseren Kugel angelegte Tangentialebenen, sämmtlich einfach mit magnetischer Masse belegt. Die Formeln, welche sich auf diesem Wege für die beiden Drehungsmomente ergeben, stimmen völlig mit den obigen überein.

Unsere Erwartung, die Drehungsmomente im vorliegenden Fall ohne Schwierigkeit genau berechnen zu können, hat sich demnach erfüllt; man kann auch ohne Mühe die Theorie noch weiter verfolgen: statt einer Lage von Kreisströmen auf jeder Kugel mehrere Lagen annehmen, ferner die oben stillschweigend gemachte Voraussetzung, dass die Kreisströme sehr nahe nebeneinander liegen, fallen lassen, u. s. w.

Was die Convergenz der Reihe für M' betrifft, so ist dieselbe befriedigend, wenn $\frac{R}{R_1}$ nicht nahe gleich 1; im letzteren Fall müssen zur Darstellung von Beobachtungen mehrere Glieder der Reihe berechnet werden.

Der Ausdruck für M zeigt, dass im Falle gleicher Stromrichtung das Drehungsmoment der Stromwirkung in möglichst einfacher Weise abhängt von der Ablenkung, und zwar für beliebig grosse Werthe derselben; ferner aber, dass dasselbe völlig unabhängig ist von R_1, dem Radius der äusseren Kugel, so dass es also in diesem Falle gar keinen Vortheil bringt, die äussere Kugel möglichst nahe an die innere zu legen. Auch im Falle entgegengesetzter Stromrichtung ist das Drehungsmoment im Wesentlichen abhängig von der Grösse der inneren Kugel.

Digitized by Google

Wir betrachten noch die Verwendung des Instrumentes für die Messung von Strömen durch einfache Ablenkung.

Als der Stromanziehung entgegenwirkende Kraft wird man jedenfalls, ausser dem Erdmagnetismus im Falle gleicher Stromrichtung, bifilare Aufhängung benutzen und durch dieselbe zugleich den Strom in die innere Kugel einleiten.

Die Einführung von entgegengesetzter Stromrichtung wird hauptsächlich bei längere Zeit fortgesetzten Beobachtungen nützlich sein, indem alsdann die Reduction auf gleiche Kraft des Erdmagnetismus wegfällt, so z. B. bei grösseren Reihen von Temperaturbeobachtungen mittelst Thermoketten. Die Multiplicatorfunction wird dann ein für allemal bestimmt.

Bei gleicher Stromrichtung hat man zwar den Vortheil einer höchst einfachen Multiplicatorfunction, aber den Nachtheil der Einwirkung des Erdmagnetismus. Die horizontale Componente des letzteren lässt sich jedoch durch das Dynamometer selbst durch blosse Umkehrung des Stromes bestimmen, wie auch beim Weber'schen Instrument, während bei allen übrigen Strommessungsapparaten für diese Bestimmung noch ein zweiter Apparat zu Hülfe genommen werden muss.

Man bringe z. B. die Axe der äusseren Kugel in den magnetischen Meridian, stelle diejenige der inneren Kugel senkrecht darauf und leite durch beide Kugeln den Strom j, so ist im Gleichgewicht

$$-pj^2 . \sin\Theta + qG . \cos\Theta - cHj . \sin\Theta = 0,$$

woraus

$$\operatorname{cotg}\Theta = \frac{pj^2 + cHj}{qG};$$

hier ist G das Gewicht der inneren Kugel, H die horizontale Componente des Erdmagnetismus, Θ der Winkel, den die beiden Axen mit einander bilden, und

$$p = \frac{16}{9}\pi^2\alpha^2 R^3, \quad c = \tfrac{4}{3}\pi\,\frac{\alpha}{\sqrt{2}}\,R^3,$$

und ferner

$$q = \frac{ou}{4L},$$

wenn o und u die Entfernungen resp. zwischen den Aufhängepuncten und zwischen den Befestigungspuncten der Drähte der bifilaren Auf-

Digitized by Google

hängung, L ihre Länge. Kehrt man nun den Strom in beiden Kugeln um, so wird

$$\cot g\, \Theta' = \frac{pj^2 - cHj}{qG};$$

man hat daher

$$\tfrac{1}{2}(\cot g\, \Theta + \cot g\, \Theta') = \frac{pj^2}{qG}$$

und

$$\tfrac{1}{2}(\cot g\, \Theta - \cot g\, \Theta') = \frac{cHj}{qG}.$$

Die Grösse pG kann in bekannter Weise für sich bestimmt werden durch Messung der Schwingungsdauer und des Trägheitsmoments der inneren Kugel, wenn keine Ströme dieselbe durchfliessen; man erhält daher j^2, sowie das Product Hj unmittelbar durch Gewichte ausgedrückt.

Für die Ausführung des kugelförmigen Dynamometers ist wohl die einfachste Construction der Kreisströme auf der Kugeloberfläche die folgende: man walzt dicken Kupferdraht in einen Blechstreifen aus, fertigt eine Holzkugel an von etwas kleinerem Durchmesser, als welchen die Dynamometerkugel erhalten soll, steckt eine Axe durch dieselbe, und wickelt nun das Kupferblech spiralig um diese Axe auf, indem man stets die innere Seite desselben an die Holzkugel andrückt; jede Halbkugel wird auf diese Art für sich gewickelt. Die Isolirung bewirkt ein Seidenband, welches der ganzen Länge nach auf dem Kupferstreifen aufgeklebt ist.

Ich hoffe später Gelegenheit zu haben, Messungen zu beschreiben, die mittelst eines solchen Dynamometers angestellt sind.

Hohenheim, im April 1871.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones.

Von Dr. R. Radau in Paris.

Das einfachste Mittel, den zuerst von Doppler gemuthmassten Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die scheinbare Tonhöhe zu constatiren, besteht wohl in der Anwendung von zwei Stimmgabeln, die ungefähr gleiche Höhe haben. Man findet dasselbe bereits 1865 in dem Catalog acustischer Apparate von R. König angegeben, ferner bei Pisko (Die neueren Apparate der Acustik, Seite 224) und in meiner populären Acustik (Seite 298 der deutschen Ausgabe), sowie an anderen Orten erwähnt. Trotzdem hat ein Herr A. M. Mayer dieselbe Methode der Pariser Academie der Wissenschaften am 11. März 1872 als etwas ganz Neues mitgetheilt. Der einzige Unterschied liegt darin, dass König die Stösse zählt, welche bei der Bewegung der einen Stimmgabel für das Ohr verloren gehen oder hinzukommen, wodurch die Aenderung der Tonhöhe gemessen wird, während Herr Mayer (ein Amerikaner) blos durch ein die ruhende Gabel berührendes Korkkügelchen constatirt, ob dieselbe mit der in Bewegung begriffenen Gabel mitschwingt oder nicht.

Das Gesetz lässt sich kurz so ausdrücken: wenn die Tonquelle sich nähert oder entfernt, so ändert sich die Tonhöhe in dem Verhältniss wie die Schallgeschwindigkeit durch Addition oder Subtraction der Bewegungsgeschwindigkeit geändert wird. Eine Geschwindigkeit von ungefähr 4 Meter in der Secunde entspricht also einer Aenderung der Tonhöhe um ein Komma ($\frac{1}{80}$); 13 Meter entsprechen einer Aenderung um einen Halbton ($\frac{1}{15}$). Solche Differenzen hört man leicht heraus; geringere Aenderungen kann man durch die Schwebungen zweier Gabeln der Beobachtung zugänglich machen.

Digitized by Google

Zwei Gabeln, die resp. 508 und 512 Doppelschwingungen geben, liefern 4 Stösse in der Secunde, wenn beide an ihrem Platze bleiben. Nähert man aber die tiefere Gabel dem Ohr mit einer Geschwindigkeit von 65 Centimeter (2 Fuss) in der Secunde, welche ihrer Wellenlänge gleichkommt, so erscheint sie um eine Schwingung höher und es geht eine Schwebung verloren, man hört also blos drei Stösse in dieser Secunde. Wird dieselbe Gabel in der folgenden Secunde ebenso schnell vom Ohre entfernt, so scheint sie um eine Schwingung tiefer, und man zählt jetzt fünf Stösse anstatt vier. Bewegt man das Ohr oder einen Resonator zwischen den beiden Gabeln, die man am Platze lässt, so wird der Effect verdoppelt; man gewinnt oder verliert zwei Schwebungen bei einer Geschwindigkeit von zwei Fuss in der Secunde. Natürlich können die Gabeln auch unisono gestimmt sein; dann hört man nur die Schwebungen, welche durch die Bewegung erzeugt werden.

Sind die Gabeln auf Resonanzkisten gestellt, so kann man die Aenderung der Tonhöhe durch Influenzerscheinungen beobachten. Man lässt also die eine Gabel auf dem Tisch stehen, während man die andere, *unisono* gestimmte, kräftig anstreicht und dann der ersteren nähert oder von ihr entfernt. Wird die zweite Gabel nur während dieser Bewegung mit ihrer Resonanzkiste verbunden, so geräth die ruhende Gabel nicht in Mitschwingung, weil der influencirende Ton durch die Bewegung verstimmt ist. Dagegen kann man die Mitschwingung erzielen, wenn man die influencirende Gabel vorher in passender Weise verstimmt (z. B. durch Aufkleben von Wachs, wodurch sie tiefer wird).

Endlich lässt sich die Beobachtung auch mit einer Stimmgabel machen. Stellt man sich in geringe Entfernung von einer Wand und führt eine in Schwingung versetzte Gabel zwischen der Wand und dem Ohre hin und her, so hört man Schwebungen in Folge der Reflexion, ebenso, wenn man das Ohr zwischen der Wand und der ruhenden Gabel bewegt. Man hört zwei Stösse auf 512 Schwingungen bei einer Geschwindigkeit von zwei Fuss in der Secunde, ganz wie bei der Bewegung des Ohres zwischen zwei Gabeln, denn die Wand ist hier als die zweite Tonquelle zu betrachten. Man kann sich die Sache auch so vorstelleu, als ob sich die Knoten und Bäuche der stehenden Schwingung am Ohre vorüberbewegten; in jeder Secunde gehen nämlich in unserem Beispiele zwei Knotenstellen am Ohre vorbei.

Digitized by Google

Dies folgt auch aus der bekannten Formel für die stehenden Schwingungen:

$$\sin(2\pi nt) \cdot \sin\left(2\pi n \frac{x}{v}\right),$$

wo n die Schwingungszahl, t die Zeit, x die Entfernung des Ohres oder der Gabel von der Wand, und v die Schallgeschwindigkeit bedeutet. Ist w die Geschwindigkeit des Ohres oder der Gabel, also $x = w \cdot t$, so erhalten wir

$$\sin(2\pi nt) \cdot \sin\left(2\pi n \frac{w}{v} t\right),$$

d. h. $2n\frac{w}{v}$ Schwebungen in der Secunde. Mit einer sehr hohen Stimmgabel ist die Erscheinung sehr auffallend.

Apparat zur Demonstration der Wirkungsweise des Blitzableiters.

Von Krumme.

(Hiezu Tafel VI Fig. 5.)

Bei Gelegenheit der Besprechung des Blitzableiters im Unterrichte begnügt man sich gewöhnlich mit einer Beschreibung der Wirkungsweise; wenigstens geben die physicalischen Lehrbücher keine diese erläuternden Apparate an. Der geringe Erfolg einer blossen Beschreibung hat mich veranlasst, einen einfachen Apparat herzustellen, der die Doppelwirkung des Blitzableiters — Vernichtung der Electricität der Wolke durch die der Spitze entströmende Influenzelectricität erster Art und Beschränkung der Influenzelectricität zweiter Art auf einen bestimmt vorgeschriebenen, zur Erde führenden Weg veranschaulicht.

Ein fünf oder mehr Fuss langer dicker Eisendraht (Taf. VI Fig. 5) ist an dem einen Ende rechtwinklig umgebogen und endigt hier bei a in eine Spitze; am andern Ende bei b kann eine Messingkugel aufgesteckt werden. Der Draht wird durch einen auf einem Glasfusse befestigten Messingcylinder gesteckt und darin so befestigt, dass die Spitze nach oben gekehrt ist. Die Oeffnung des Cylinders ist im Querschnitt quadratisch, wie auch dem Drahte an der Stelle, die bei der Befestigung im Cylinder steckt, ein quadratischer Querschnitt gegeben wird. Die Messingkugel c ist zur Erde abgeleitet.

Digitized by Google

Wird der electrisirte Deckel eines Electrophors (die electrische Wolke repräsentirend), in geringer Entfernung über die Spitze bei *a* hinwegbewegt, so springt zwischen *b* und *c*, wenn der Abstand beider Kugeln hinreichend klein ist, ein Funke über, und der Deckel erweist sich nach dieser Bewegung vollständig oder doch fast vollständig unelectrisch.

Dr. Krumme,
Director der städtischen Gewerbeschule zu Remscheid.

Bequeme Einrichtung schwimmender galvanischer Ströme.

Von Ph. Carl.

(Hiezu Tafel 3, Figur 5.)

Die Lamont'sche hydrostatische Magnetaufhängung — conf. Repertorium VI p. 118 — gab mir Veranlassung, galvanische Ströme in analoger Weise freibeweglich herzustellen. Fig. 5 auf Tafel 3 stellt den kleinen Apparat schematisch dar. Ein Glasgefäss von der Form *G* trägt, um stabil zu schwimmen, unten etwas Quecksilber, über welches schwach angesäuertes Wasser gegossen wird. Durch den Stöpsel *S* hindurch gehen zwei Kupferdrähte, welche unten eine Zink- und eine Kupferplatte tragen. An den äusseren Enden können verschieden geformte Schliessungskreise eingeschaltet werden.

Der Apparat ist ungemein empfindlich und sehr gut geeignet, die Anziehungs- und Abstossungserscheinungen zwischen Strömen und Magneten etc. im Hörsaale zu zeigen.

Ich beabsichtige demnächst, in das Glasgefäss *G* ein Pincus'sches Chlorsilberelement einzusetzen und werde versuchen, auf den Stöpsel *S* einen kleinen Spiegel aufzusetzen, um den Apparat auch für Messungen gebrauchen zu können.

Ein grosser Funkeninductor.

(Hiezu Tafel 6 Figg. 1—3.)

(Les Mondes 11. Janv. 1872.)

Die Rolle dieses Inductors, der von Ritchie construirt wurde, hat eine Länge von 1m 20, sie enthält 71 Kilometer Draht und wiegt

Digitized by Google

112 Kilogramm. Sie gibt mit einer einfachen Batterie von drei Elementen Funken von $0^m.63$ Länge. Die Figur 1 ist nach einer Photographie ausgeführt; um eine Schätzung der Dimensionen des Apparates zu ermöglichen, sind einige andere gewöhnliche Gegenstände nebenhin gezeichnet.

Der Apparat besteht aus drei Theilen, wovon der eine den Condensator enthält, der in einem Mahagonykästchen eingeschlossen ist, auf dessen oberer Fläche der automatische Selbstunterbrecher, der Commutator etc. sich befinden; die beiden anderen Theile bilden die Inductionsrolle. Diese beiden Theile sind derart montirt, dass man sie getrennt und vereinigt benützen kann, je nachdem man eine mehr oder weniger grosse Electricitätsmenge erzeugen will. Die Polklemmen zur Verbindung der beiden Rollenhälften unter sich und mit dem Condensator sind in der Figur nicht sichtbar.

Als Eigenthümlichkeiten in der Construction können die folgenden bezeichnet werden: Der Eisenkern besteht aus Eisendrähten von einer Dicke von $1^{mm}.46$ und wiegt etwa 6.35 Kilogramm. Diese Drähte sind nicht von einander isolirt, sie sind einfach zu einem Bündel vereinigt und in Zeugstücke eingewickelt, die mit Oel getränkt sind, um jede Zerstörung zu verhüten.

Der primäre Draht ist 60 Meter lang, 5 Millimeter dick und wiegt 7.72 Kilogramm. Der secundäre Draht hat eine Länge von 71 Kilometer 200 Meter und eine Dicke von 0.18 Millimeter; sein Gewicht beträgt 19.7 Kilogramm. Er besteht aus Kupferdraht von vorzüglicher Qualität und sehr gutem electrischen Leitungsvermögen und ist mit weisser Seide übersponnen. Nach dem System von Ritchie ist dieser Draht in eine Reihe gesonderter Spiralen aufgewunden, welche durch mit Paraffin getränkte Papierschichten von einander getrennt sind.

Die Isolirung zwischen dem primären und secundären Drahte ist durch Glas und Kautschukumhüllungen bewerkstelligt, die der Art angebracht sind, dass sie den grössten Widerstand an den Puncten der grössten Spannung bieten; man überzeugte sich durch directe Versuche, dass dieser Widerstand wenigstens 50 bis 100 mal grösser ist, als derjenige, der durch Funken von 53 Centimeter Länge überwunden wird. Der Condensator enthält etwa 30 Quadratdecimeter Stanniolplatten, die durch geölte Seide isolirt sind, wovon $9^{dc}.30$ in beständiger

Digitized by Google

Verbindung mit dem primären Drahte stehen; vermittelst dreier Knöpfe kann der Experimentator nach Belieben Flächen von $9^{dc}30$, $7^{dc}00$, $4^{dc}70$ einschalten.

Die Unterbrechung des Stromes kann sowohl durch einen Selbstunterbrecher als durch eine Curbel bewerkstelligt werden, wie dies Ritchie bei allen grossen Inductoren ausgeführt hat; die automatische Bewegung bewirkt ein einziges galvanisches Element und man kann die Verbindung des Unterbrechers beliebig herstellen und aufheben mittelst eines Knopfes, der auf die obere Fläche des Condensatorkastens aufgesetzt ist.

Die Höhe des ganzen Apparates bis zu der Stange über der Rolle beträgt 47 Centimeter; die ganze Länge des Bodenbrettes ist 1 Meter, die Höhe desselben beträgt 12,7 Centimeter, seine Breite 33 Centimeter. Die Länge einer jeden Rollenhälfte beträgt 33 Centimeter, der äussere Durchmesser der secundären Rolle ist 22.8 Centimeter.

Die Batterie, welche den Inductor in Thätigkeit setzt, bilden drei Zinkkohlenelemente mit grossen Platten; die Füllung ist die gewöhnliche Lösung von doppeltchromsaurem Kali mit Schwefelsäure versetzt.

Verbindet man den Inductor mit einer Leydener Flasche von 3 Quadratdecimeter Oberfläche, so erhält man Funken von 68 Centimeter Länge. Als secundärer Condensator wird eine Plattenbatterie nach Morton's Angabe (Fig. 2) gebraucht; man erhält damit intensive Funken von 35—56 Centimeter Länge, welche durch Glasstücke von 7.5 Centimeter Dicke hindurchgehen. Figur 3 stellt den Apparat zum Glasdurchbohren dar.

Dynamoëlectrische Maschine für Vorlesungszwecke.

(Hiezu Tafel 1 bis 3.)

Oftmals aufgefordert, eine dynamoëlectrische Maschine für Vorlesungszwecke zu construiren, habe ich eine grössere Anzahl von Versuchen angestellt, welche zu dem Resultate führten, dass die Wirkungen

Digitized by Google

dieser Maschinen mit der Verkleinerung der Dimensionen ganz unverhältnissmässig abnehmen.[1])

Auf Tafel 1 ist eine solche Maschine, von der Seite gesehen, dargestellt; Tafel 2 zeigt dieselbe Maschine von oben betrachtet; Tafel 3 Figur 1 gibt eine Ansicht von vorn, wobei der untere Theil hinter dem Commutator im Durchschnitte gezeichnet ist.

E ist der Electromagnet, A sein Anker, M die Verlängerung der Eisenkerne des Electromagneten, innen cylindrisch ausgedreht, um den Inductor JJ möglichst eng zu umschliessen, welcher den Commutator CC trägt. Der eine Draht des Inductors ist mit einem der isolirten Metalltheile des Commutators verbunden, das andere Drahtende mit einem Metallringe am hinteren Ende, an welchem eine starke Feder schleift, die zur Klemme K_4 führt; am Commutator selbst schleifen drei Federn, die zu den Klemmen K_1, K_2, K_3 führen, wie die Tafel 2 zeigt.

Man kann so durch verschiedene Einschaltungen der Enden des Electromagnetdrahtes in diese Klemmen, sowie durch geeignete Verbindungen derselben unter sich durch Drähte in mehrfacher Weise die Maschine in Thätigkeit versetzen. Ich verweise bezüglich der Principien auf die Abhandlung von Schellen im 4. Bande des Repertoriums. Der Inductor wird durch Zahnräder RR in rasche Rotation versetzt.

Hat die Maschine die doppelte Grösse der Figuren, so kann man an einem Bussolengalvanoscope, das nur eine Windung besitzt, die Ströme durch einen bedeutenden Ausschlag nachweisen; man kann angesäuertes Wasser zersetzen und einen dünnen kurzen Platindraht zum Glühen bringen. Weit beträchtlicher werden diese Wirkungen, wenn der Electromagnet die fünffache Höhe der Figuren und etwa die doppelte Breite erhält; dann kommt die Wirkung etwa der einer grösseren Stöhrer'schen magnet-electrischen Maschine — mit drei magnetischen Magazinen — gleich.

Man kann aber auch mit der kleineren Maschine sehr schöne Wirkungen erhalten, wenn man dieselbe als electromagnet-electrische Maschine wirken lässt, d. h. wenn man den Electromagneten durch

1) Es scheint dasselbe auch bei den kleineren Exemplaren der interessanten Maschine von Gramme der Fall zu sein, wie ich aus einer Mittheilung von Bregnet über die Wirkungen derselben entnehmen zu dürfen glaube.

Digitized by Google

eine galvanische Batterie erregt und den Inductor einfach wie bei der magnet-electrischen Maschine wirken lässt.

Was der weiteren Verbreitung der Maschine entgegenstehen wird, ist der leicht zu begreifende relativ hohe Preis derselben.

Carl.

Ruhmkorff's Ozon-Erzeugungs-Apparat.

(Les Mondes 28 Decembre 1871.)

(Hiezu Tafel 6 Figur 4.)

Dieser Apparat besteht aus einem rechteckigen Kasten von Holz, in welchen horizontal über einander mattgeschliffene Glasplatten, die mit Stanniol überklebt sind, aufgeschichtet sind. Die Stanniolflächen stehen an ihren Enden mit Klemmschrauben in Verbindung, welche in den Schliessungskreis einer Bunsen'schen Batterie oder eines Funkeninductors eingeschaltet werden. Auf die obere Fläche des Kastens sind zwei Tubulen aufgesetzt, welche dazu dienen, einen Strom von Sauerstoff oder trockener Luft mittelst eines Aspirators hindurchgehen zu lassen.

Ein Riesen-Electromagnet

Derselbe wurde für Professor Morton vom Stevens' Institut von Wallau zu Antonia construirt und besteht aus acht metallenen Rollen von 21 1/2 Zoll Durchmesser und 9 1/4 Länge, die mit wohl isolirtem Kupferdraht umwickelt sind. Jede Rolle hat 272 Drahtwindungen, alle acht Rollen also 2176 Windungen. Die Rollen sind von Metall und selbstverständlich hohl, um den weichen Eisenkern aufnehmen zu können. Dieser besteht aus dem besten norwegischen Eisen, das vollständig kohlenfrei ist; er ist doppelt, hat eine Länge von 3 Fuss 3 Zoll, einen Durchmesser von 6 Zoll und ein Gewicht von 183 Pfund. Beide Eisenkerne hängen an einem Querstücke von weichem Eisen, dessen Querschnitt dem der Kerne gleich ist; seine Länge beträgt 2 Fuss 4 Zoll, seine Breite 2 Zoll, seine Dicke 6 Zoll und sein Gewicht 180 Pfund. Ueber jeden Eisenkern können vier Drahtrollen geschoben

Digitized by Google

und mittelst Schrauben festgehalten werden. Die Drähte der einzelnen Rollen können in verschiedener Weise — hintereinander und nebeneinander — durch Klemmschrauben verbunden werden. Der Anker besteht aus einem weichen Eisenstücke von 25 Zoll Länge, 3 Zoll Breite, $1^3/_4$ Zoll Dicke und hat ein Gewicht von 54 Pfund; in der Mitte derselben ist ein Bolzen zum Aufhängen des zu tragenden Gewichtes angebracht. Der ganze Apparat wiegt etwa 600 Pfund.

Ein Schul-Laboratorium für Physik.

Welch' wichtige Rolle schon beim ersten physicalischen Unterrichte das Experiment spielt, ist zu allgemein anerkannt, als dass es nöthig wäre, hier darauf näher einzugehen. Dagegen ist ein anderer Punct hervorzuheben, nämlich die Anleitung zum selbstthätigen Experimentiren des Schülers. Prof. Weinhold hat seine „Vorschule der Physik" von diesem Gesichtspuncte aus verfasst; Prof. Hinrichs in Jowa (Verein. Staaten) hat ein eigenes Schullaboratorium für diesen Zweck eingerichtet. Bereits sind es 300 Schüler, welche in diesem Institute die Hauptgesetze der Experimentalphysik theils qualitativ, theils sogar quantitativ durchgearbeitet haben. Im Anschlusse und mit Rücksicht auf diese Thätigkeit gibt Hinrich's eine eigene Zeitschrift heraus unter dem Titel „The School Laboratory" (zu beziehen durch Brockhaus in Leipzig), worin unter Anderem auch die besseren Arbeiten der Schüler gedruckt werden als eine Aufmunterung zu andauerndem Fleisse. Beim chemischen Unterrichte ist die Wichtigkeit des selbstthätigen Eingreifens der Schüler längst anerkannt und durchgeführt. Wir wünschen, dass das verdienstliche Unternehmen des Herrn Hinrichs auch bei uns Nachahmung finden möge.

Neues Weingeist-Thermometer.

Von Regnault.

Dasselbe besteht aus einem cylindrischen Gefässe *ab* aus Silber, an welches ein capillarer Silberdraht *acde* gelöthet ist, der die nöthige

Digitized by Google

Länge hat, damit er von dem Orte des Reservoirs *ab* bis in das Cabinet des Beobachters reiche, woselbst man die Maassröhre *fg* anbringen will.

Diese gläserne Maassröhre *fg* wird von möglichst gleichem Caliber gewählt; ihr Querschnitt ist ein solcher, dass ein Grad Celsius an derselben ungefähr 2 Millimeter einnimmt; übrigens hängt dieser Querschnitt auch von dem Rauminhalt ab, welchen man dem Reservoir *ab* gegeben hat.

Die einzige Schwierigkeit bei diesem Instrumente besteht darin, die Verbindung der Maassröhre und der capillaren Röhre möglichst luftdicht zu machen. Figur 2 stellt die Anordnung dar, welche Regnault zu diesem Zwecke erdacht und welche vollständig entsprochen hat.

Die capillare Röhre *dei* ist in eine messingene Tubulatur *abc* gekittet, in welcher das Glasrohr *T* fest mit Reibung hineinpasst; das Ende *i* der capillaren Röhre geht ungefähr um 1 Centimeter über die Tubulatur hinaus. Man giesst in diese Tubulatur eine kleine Quantität einer Auflösung von Gummi arabicum im Maximum der Concentration und im warmen Zustande. Endlich überkleidet man die Tubulatur äusserlich mit Harzfirniss, um dem Glase mehr Stabilität zu geben.

Beim Erkalten gerinnt das Gummi arabicum, es haftet fest an dem Glasrohre und an der metallischen Tubulatur. Man giesst in das Rohr etwas wasserfreien Alkohol, den man durch 24 Stunden darin lässt und hierauf abgiesst. Der Alkohol erhöht noch die Festigkeit des Gummi, indem er demselben das Wasser entzieht.

Bevor man die Maassröhre in der Tubulatur *g* (Fig. 1) anbringt, füllt man das Reservoir *ab* mit absolutem Alkohol, den man roth färbt, damit die Weingeistsäule in der Maassröhre die photographisch wirksamen Strahlen soviel als

Fig. 1.

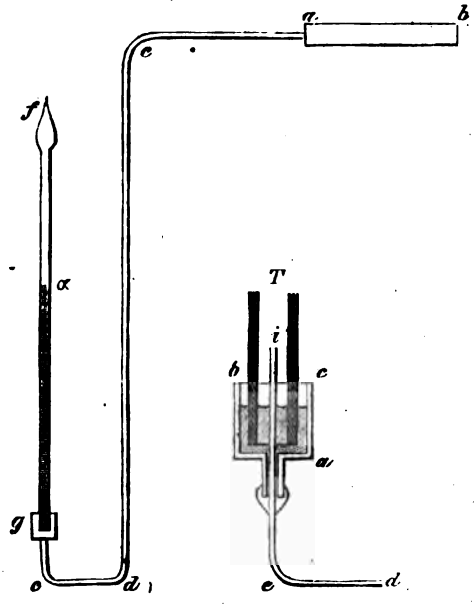


Fig. 2.

Digitized by Google

möglich absorbire. Wenn der Apparat vollständig aufgestellt ist, fügt man gefärbten Alkohol hinzu, den man durch das noch offene Ende *f* hineingiesst. Man erwärmt hierauf das Reservoir *ab*, damit durch die Ausdehnung des Alkohols die Luftblasen aus der capillaren Röhre entfernt werden, endlich lässt man in dem Apparate eine solche Quantität Weingeist, dass die Oberfläche desselben sich nahezu in der Mitte der Maassröhre *fg* befindet, wenn man das Reservoir *ab* mit thauendem Eis umgibt. Man erwärmt dann das Reservoir, so dass die Flüssigkeit in die Erweiterung am oberen Ende der Röhre zu steigen beginnt und schliesst hierauf die Spitze der Erweiterung mittelst der Flamme. Diese Vorsicht ist nöthig, um grosse Aenderungen des Druckes in den Thermometern zu vermeiden.

Ein nach der vorstehenden Anleitung construirtes Thermometer darf nur als ein Thermoscop betrachtet werden, dessen Graduirung mittelst eines Quecksilber-Normal-Thermometers auszuführen ist. Die Röhre *fg* wird einfach in Millimeter getheilt. Das Reservoir *ab* und mit ihm die capillare Röhre, die in eine Rolle zusammengedreht wird, wird in einem mit Wasser gefüllten Bottich unmittelbar neben dem Quecksilber-Normal-Thermometer angebracht. Man bringt dieses Wasser nach und nach auf die Temperatur von 5, 10, 15 .... Graden und notirt den Theilstrich der Millimetertheilung, bei welcher die Oberfläche der Weingeistsäule in der Röhre *fg* stehen bleibt.

Man führt diese Vergleichung im schmelzenden Eise und für tiefere Temperaturen in einer Kältemischung aus. Mit Hilfe dieser Daten construirt man eine Curve, deren Abscissen die Zahlen der Theilung der Millimeterröhre des Weingeistthermometers und deren Ordinaten die Temperaturen des Quecksilberthermometers sind. Es genügt somit, an der metrischen Scala der Röhre die Zahl der Theilung abzulesen, bis zu welcher die Oberfläche des Alkohols reicht und die entsprechende Temperatur entweder mittelst der Curve oder mittelst einer auf Grundlage derselben abgeleiteten Tafel aufzusuchen.

Wenn man mehrere solche Thermometer benützen will, welche zu gleicher Zeit beobachtet werden sollen, so werden die Maassröhren, es mögen sich die Thermometergefässe an noch so verschiedenen Orten befinden, im Cabinet des Beobachters in einer und derselben Verticalebene vereinigt. Da die Maassröhren nur eine Millimetertheilung tragen, deren Nullpunct oben an einer Stelle angebracht ist, bis zu welcher

Digitized by Google

der gefärbte Alkohol auch bei hohen Temperaturen, denen das Reservoir ausgesetzt ist, nicht aufsteigt, so ist es leicht, die Nullpuncte sämmtlicher Theilungen mit der unteren Kante eines metallenen Lineals in Coincidenz zu bringen, wobei alle Röhren vertical erhalten werden. Wenn man unter diesen Verhältnissen mit Hilfe eines Prisma's oder eines Spiegels das Licht einer Lampe senkrecht auf die Ebene der Maassröhren fallen lässt, wenn man vorne und in einer zweckmässig gewählten Entfernung eine photographische Kammer anbringt, welche auf einer empfindlich gemachten Glasplatte ein scharfes Bild sämmtlicher Röhren in einem bestimmten Augenblicke liefert, so hat man alles Erforderliche, um die von den verschiedenen Thermometern gleichzeitig angegebenen Temperaturen ablesen zu können.

Die auf der Glasröhre eingravirten metrischen Scalen können von der Art sein, dass sie auf der Glasplatte scharf zum Vorschein kommen; man kann dann jeden Meniscus auf seine besondere Scala beziehen. Diese Einrichtung ist die zweckmässigste. Man kann aber auch zwischen die Massröhren einen Glasstab einschalten, welcher allein eine metrische Theilung trägt, welche dann für alle Maassröhren gilt. Diese letztere Einrichtung ist leichter auszuführen.

Es ist von Vortheil, das Bild nur in der Hälfte oder im vierten Theile der natürlichen Grösse entstehen zu lassen, indem dasselbe dann schärfer ausfällt und weniger Zeit für die Lichtwirkung braucht. Man wird immer eine hinreichende Genauigkeit erzielen, wenn man die Stellung des Meniscus auf der Platte mit Hilfe eines kleinen mit Micrometer versehenen Fernrohrs misst.

Das System von Thermometern, welches Regnault vorschlägt, kann nach ihm dazu dienen, verschiedene Aufgaben zu lösen, die bisher noch nicht behandelt wurden. Die Gefässe der Thermometer sind von Silber, dieselben können beliebig glänzend polirt werden, endlich kann man sie mit verschiedenen Hüllen umgeben, welche das Wärme-Absorptions-Vermögen modificiren werden.

1. Nehmen wir zunächst an, dass diese Thermometergefässe in verschiedenem Grade polirt neben einander gereiht dem vollen Sonnenlichte ausgesetzt seien und dass man die Temperaturgrade notire, welche sie gleichzeitig bei verschiedener Sonnenstrahlung anzeigen. Man wird durch diesen Versuch den Einfluss bestimmen, welchen der Grad der Politur der Silberoberfläche auf die Temperatur ausübt.

Digitized by Google

2. Während eines der Thermometergefässe mit seiner polirten Silberfläche ausgesetzt wird, werden die Oberflächen der andern mit Lampenruss, Papier, Tuch u. s. f. überzogen, und man notirt die Temperatur, welche sie bei derselben Sonnenstrahlung anzeigen. Man wiederholt diese Beobachtungen bei verschiedenem Höhenwinkel der Sonne und bei verschiedenen Graden der Reinheit der Atmosphäre.

3. Man umgibt eines der Thermometergefässe mit Blättern der Pflanzen, in deren Mitte man dasselbe specieller Untersuchungen wegen anbringen will, und untersucht, ob es nicht möglich ist, ein zweites Thermometergefäss mit Leinwand, Papier u. s. f. so einzuhüllen, dass es fast genau dieselbe Temperatur zeigt, wie das von den lebenden Blättern der Pflanzen umgebene Reservoir. Es ist einleuchtend, dass, wenn man eine Umhüllung findet, welche diese Wirkung hervorbringt, man sich eines auf diese Art bedeckten Thermometergefässes bedienen kann, um die Temperatur zu bestimmen, welche die Pflanze im Sonnenschein annimmt. Wenn man nicht dazu gelangt, eine vollständige Uebereinstimmung zu erzielen, so wird man die Umhüllung wählen, welche die meiste Annäherung bietet, und man wird auf dem Wege des Versuches ermitteln, ob man die Identität nicht mittelst einer Correction herstellen kann.

4. Bisher ist es schwierig, jene Temperatur zu bestimmen, welche man zu notiren hat, wenn man den Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der im Freien wachsenden Pflanzen studiren will. Ist dies die Temperatur der Luftschichten, in welchen sich die Pflanzen befinden? Wenn dies der Fall ist, dann müssen die Thermometer im Schatten angebracht werden, durch Schirme geschützt, welche nicht selbst durch die Sonnenstrahlung erwärmt werden. Die Pflanze aber befindet sich nicht in denselben Verhältnissen, denn sie empfängt die Wirkung der Sonnenstrahlen in directer Weise.

Ist es die Temperatur, welche ein neben der Pflanze angebrachtes Thermometer anzeigt, welches so wie diese der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist? Aber dieses Thermometer wird verschiedene Temperaturen anzeigen, je nach dem Absorptionsvermögen seiner Umhüllung.

Soll man dieser Umhüllung ein gleiches Absorptionsvermögen mit jenem der Blätter, der Blüthen der Pflanzen beimessen? Ist dies auch wirklich möglich, da unter dem Einflusse der Wärme das Laub der

Digitized by Google

Pflanzen fortwährend Gase, Wasserdampf u. s. f. ausschwitzt, wodurch eine Erniedrigung der Temperatur bewirkt werden muss?

Diese Fragen können nicht *à priori* beantwortet werden, allein mit Hilfe der Thermometer, welche im 6. Hefte des vorigen Bandes beschrieben wurden, lassen sich vorläufige Versuche anstellen, welche die Lösung erleichtern und den Beobachtern die Richtung andeuten können, welche sie bei ihren Untersuchungen einzuschlagen haben.

Ein Versuch zum Beweise, dass die Electricität sich auf der Oberfläche der Körper aufhält.

Von A. Terquem.

Man nimmt ein Vogelhaus, sei dies aus Holz mit Eisendrähten oder ganz aus Metall verfertigt, und hängt es an isolirten Leitungsdrähten auf, die mit dem Conductor einer Electrisirmaschine in Verbindung stehen. Man kann in das Vogelhaus, wie ich es gethan habe, ein Goldblattelectroscop bringen oder Stücke von Rauschgold, einem Federbarte, oder Hollundermarkkügelchen hineinlegen; nichts rührt sich, während man kräftige Funken aus dem Vogelhause zieht. Man hängt dann im Innern des Käfigs ein Bündel von leinenen Fäden auf, aussen an demselben ein ebensolches Fadenbündel an; beim letzteren äusseren divergiren alle Fäserchen stark und man hört die überströmenden Funken beim Annähern der Hand.

Man kann auch aussen und innen Papierstreifen ankleben; die äusseren Streifen werden abgestossen, während die inneren vertical hängen bleiben. Man kann auch noch einen lebenden Vogel in den Käfig bringen und wird finden, dass sich derselbe vollständig indifferent gegen die Ladung und Entladung verhält, da sich der Sitz derselben blos auf der äusseren Oberfläche des Käfigs befindet. (Les Mondes 18. Avril 1872.)

Digitized by Google

Uebersichtliche Zusammenstellung aller in diesem Jahrhunderte im Adriatischen Golfe ausgeführten magnetischen Beobachtungen.

Von Joseph Schellander.

(Jahrbücher der Wiener Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus. Neue Folge VI. Bd.)

Ort.	Zeit.	Breite Nord.	Länge o. a. Gew.	Höhe u. W.	Declination W.	Jährliche Aenderung.	Declination 1870 (J. Aend. 6',5.)	Inclination.	Horizontale Intensität.	Gesammtkraft T.
		° ′ ″	° ′ ″	m	° ′		° ′	° ′		
Primaro . . .	Mai 1810	45 40 40	13 26 30		17 30					
Triest . . .	März 1868	45 38 36	13 45 45	27,2	12 31,4	6,5	12 18,4	61 50,3	2,1283	4,5094
	Mai 1854	45 39	13 45		14 3,0	6,4		62 36,1	2,0903	4,5424
	Juli 1847				14 46,5	6,2		62 43,1	2,0752	4,5271
	April 1857	45 38 36	13 45 45		13 52,2	7,3 13,6 5,7		62 19,4	2,0973	4,5153
	April 1872				17 44					
Pirano . . .	Aug. 1819	45 31	13 34		16 5	5,0				
	Juli 1806				17 10					
Venedig . . .	Juni 1854	45 26	12 19		14 34,2	7,7	12 50,2	62 33,5	2,0893	4,5337
	Juli 1847				15 28,2			62 56,3	2,0627	4,5338
Malamocco . .	Sept. 1819	45 22	12 20		17 50					
Fiume . . .	Aug. 1867	45 19 40	14 26 22	22,5	12 9,2	7,4	11 49,7		2,1398	
	Juni 1854	45 19	14 27		13 45,8	7,9		62 12,2	2,1099	4,5244
	Aug. 1847				14 47,0	8,7		62 30,6	2,0926	4,5332
	Aug. 1819				15 20,0					
Porto Quieto .	Juli 1806	45 19	13 33		17 10					
Parenzo . . .	Juli 1868	45 13 40	13 35 33	4	12 33,2	7,3	12 20,2	61 25,5	2,1346	4,4628
	Juni 1854				14 15,2					
	Aug. 1819				16	5,4				
	Juli 1806				17 10					
Zengg . . .	Aug. 1868	44 59 20	14 53 41	72,1	12 3,4		11 50,4	61 8,7	2,1604	4,4764
Pola	Aug. 1868	44 52 27	13 51 2	20,3	12 18,5	6,7	12 5,5	61 12,2	2,1581	4,4801
	Juni 1854	44 52	13 50		13 53,0	6,3			2,1189	
	Aug. 1847				14 30,5	5,4		62 18,8	2,1069	4,5344
	Mai 1823				15 15					
	Aug. 1819				15	6,4				
	April 1806				17 4	9,5				
Goro	Sept. 1819	44 50 0	12 21		18 10					
Promontore .	Juli 1867	44 46 40	13 54 49	36,6	12 22,5		12 3,0		2,1577	
Arbe	Juli 1821	44 46	14 46		17 50					
Lussin . . .	Juni 1854	44 32	14 28		13 36,5		11 52,5	61 40,9	2,1328	4,4961
Oriule . . .	Aug. 1868	44 30 10	14 32 30	28,1	11 57,4	7,1	11 44,4	60 59,3	2,1583	4,4496
Puntadura . .	Juli 1821	44 18	15 3		16 41					
Isto	Juli 1821	44 17	14 46		15 47					
S. Bianche . .	Oct. 1868	44 8 30	14 52 55	1,7	12 4,1		11 51,1	60 45,0	2,1861	4,4759
Zara	Sept. 1868	44 7 25	15 13 35	2,5	12 11,0	6,4	11 58,0	60 32,5	2,1946	4,4625
	Juli 1854	44 7	15 15		13 41,3	5,1			2,1669	
	Aug. 1847				13 57,8	3,3		61 58,5	2,1423	4,5604
	Mai 1823				14 43					
	Aug. 1819				14 13					
	Aug. 1806				16 55					

Digitized by Google

Ort.	Zeit.	Breite Nord.	Länge ö. a. Gew.	Höhe u. W.	Declination W.	Jährliche Aenderung.	Declination 1870 (J. Aend. 6',5.)	Inclination.	Horizontale Intensität.	Gesammtkraft T.
		° ′ ″	° ′ ″	m	° ′					
Rimini . . .	Juli 1810	44 5	12 34		17 10					
Incoronata . .	Juni 1821	43 50	15 17		16 25					
Morter . . .	Juli 1818	43 48	15 39		15 30					
Lebenico . .	Aug. 1847	43 44	15 59		14 0,8		11 31,8	61 2,6	2,1674	
Smajan . . .	Juli 1818	43 42	15 44		16 50					
Zuri	Juni 1868	43 40 8	15 37 55	72,1	11 39,6		11 26,6	60 14,7	2,1726	4,3777
	Juni 1821				16 12					
	Juli 1819				14 19					
	Juli 1818				14 56					
Ancona . . .	Aug. 1854	43 37	13 30		13 39,5		11 55,5	60 53,4	2,1821	4,4854
	Nov. 1811				17 39					
Rogoznica . .	Juli 1819	43 31	15 58		14 30	7,2				
	Sept. 1806				16 4					
Spalato . . .	Mai 1870	43 29 51	16 26 48	1,7	11 21,5	6,4	11 21,5	59 48,9	2,2381	4,4512
	Juli 1854	43 31	16 27		13 3,6	6,1		60 26,1	2,2050	4,4619
	Aug. 1847				13 41,3	5,4		60 54,8	2,1822	4,4889
	Juli 1819				14 15					
	Juli 1818				16 36					
	Sept. 1806				16 38					
Almissa . . .	Juli 1818	43 27	16 41		15 56					
Solta	Juli 1818	43 23	16 15		16					
Brezza . . .	Juli 1868	43 22	16 33		16 18					
Civitanova . .	Nov. 1811	43 19	13 40		17 21					
Makarska . .	Aug. 1818	43 18	17 1		16 42					
Lesina . . .	Juli 1854	43 4	16 27		12 41,5		10 57,5		2,2372	
	Juli 1819				14 5					
Pomo. . . .	Juli 1869	43 5 25	15 27 40		9 43.5		9 37,0			
Lissa. . . .	Mai 1869	43 4 15	16 12 3	33,7	10 58,4	6,2	10 51,9	59 12,6	2,2855	4,4845
	Juli 1854	43 5	16 4		12 32,0			59 31,9	2,2517	4,4407
	Juli 1819				14					
Grottamare .	Oct. 1811	42 59 50	13 51 49		17 45					
Sabbioncello .	Aug. 1819	42 58	17 11		14					
	Aug. 1818				16 1					
Meleda . . .	Juli 1819	42 48	17 25		15					
Lagosta . . .	Juni 1869	42 45 45	16 49 55	1,7	10 39,1	7,1	10 32,6	58 42,9	2,2928	4,4152
	Juli 1854	42 47	16 52		12 26,1					
	Aug. 1818				16 15					
Gravosa . . .	Sept. 1870	42 40 20	18 5 18	6,3	10 10,5	6,2	10 10,5	58 31,6	2,2939	4,3935
	Juli 1854	42 40	18 5		11 50,1	6,3		59 8,9	2,2663	4,4194
Ragusa . . .	Aug. 1847	42 38	18 7		12 35,6	6,5	10 6,6	59 35,8	2,2525	4,4510
Megline . . .	Aug. 1854	42 27 28	18 34		11 54,2	4,6	10 10,2	58 52,3	2,2823	4,4149
Cattaro . . .	Aug. 1847	42 25	18 46		12 26,2		9 57,2	59 28,6	2,2686	4,4664
	Sept. 1821				16 17					
	Juni 1818				14 25					
	Juni 1809				15 33					
Pelagosa . .	Mai 1869	42 21 52	16 15 25	7,5	11 11,3		11 4,8	58 39,1	2,2856	4,3832
	Sept. 1819				15 10					
Tromiti . . .	Sept. 1819	42 7	15 30		15					
Manfredonia .	Sept. 1819	42 7	15 30		14 55					
Antivari. . .	Juli 1870	42 5 2	19 5 25	1,7	9 46,6	6,6	9 46,6	57 49,6	2,3303	4,3760
	Aug. 1854	42 6 6	19 9		11 33,0			58 23,5	2,2999	4,3882
Durazzo . . .	Juni 1870	41 18 37	19 26 43	1,7	9 35,2	6,5	9 35,2	57 3,8	2,3674	4,3540

Digitized by Google

Ort.	Zeit.	Breite Nord.	Länge o. a. Gew.	Höhe u. W.	Declination W.	Jährliche Aenderung.	Declination 1870 (J. Aend 6',5.)	Inclination	Horizontale Intensität.	Gesammtkraft T.
		° ′ ″	° ′ ″	m	° ′			° ′		
Durazzo . . .	Aug. 1854	41 19	19 28		11 20,3			57 49,5	2,3427	4,3994
	Sept. 1818				15 58					
Molfetta . . .	Oct. 1854	41 13	16 41		12 28,9		10 44,9	57 52,9	2,3286	4,3798
Brindisi . . .	Sept. 1854	40 38 48	18		11 50,7		10 6,7	57 9,1	2,3702	4,3698
	April 1823	40 38	18		14 35					
Aulona . . .	Juni 1870	40 27 28	19 30 32	1,7	9 36,2	6,5	9 36,2	56 1,6	2,4120	4,3164
	Aug. 1854	40 29	19 30		11 19,9			56 52,5	2,3873	4,3686
	Juni 1823				13 56					
	Juli 1818				14					
Corfu. . . .	Aug. 1857	39 38	19 55		10 48,3	6,5	9 23,8	55 41,7	2,4413	4,3315
	Aug. 1854				11 7,8			55 38,0	2,4314	4,3073
Provesa . . .	Dec. 1870	38 57	20 43	8,5	9 5,2		9 5,2	54 21	2,4998	4,2890

Monatmittel der magnetischen Declination und Horizontal-Intensität für Wien im Jahre 1869.

	Declination.	Hor. Intensität.
Januar	11°23′,88	2,04410
Februar	19,00	2,04585
März	19,66	2,04492
April	14,94	2,04487
Mai	15,27	2,04431
Juni	14,80	2,04330
Juli	13,58	2,04744
August	13,26	2,04597
September . . .	15,19	2,04642
October	13,24	2,04598
November . . .	8,91	2,04808
December	10,55	2,05011

(Aus den Jahrbüchern der k. k. Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus in Wien von Jelinek & Fritsch. Neue Folge VI. Band.)

Digitized by Google

Emsmann. Collector für Reibungs-Electrisirmaschinen.

Emsmann hat den Winter'schen Ring an der Reibungs-Electrisirmaschine durch einen Collector ersetzt, der aus mehreren Glasröhren besteht, die am einen Ende zugeblasen und dann ineinander gesteckt sind, und von denen die weiteste etwa 5 Centimeter Durchmesser hat. Mit Ausnahme der weitesten Röhre, die nur als isolirende Hülle dient, sind sämmtliche (3 bis 5) Röhren aussen mit Stanniol beklebt; die Ränder der offenen Enden liegen in einer Ebene, und an diesen Enden sind sämmtliche Stanniolbelege unter sich vereinigt und mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung gebracht, so dass der Collector nach Belieben aufgesetzt oder abgenommen werden kann.

Die Wirkung ist eine überraschende. Der Collector leistete noch mehr als der Winter'sche Ring, als er an dessen Stelle auf die Maschine, welche mit einem solchen versehen war, gesetzt wurde. Es lässt sich dieser einfache und billige Collector an jeder Frictionsmaschine leicht anbringen, so dass man an einer jeden auf einfache und billige Weise dieselben Wirkungen erzielt, durch welche sich die Winter'schen Ringe bisher auszeichneten. (Poggendorff's Annalen 1872 Nr. 2.)

Maschine für Glastheilungen.

Von Stanistreet.

(Hiezu Tafel 3 Figur 3.)

(Aus English Mechanic and World of Science. Vol. XIV. Nr. 343.)

In der Figur 3 auf Tafel 3 ist die Maschine von Stanistreet zur Herstellung feiner Glastheilungen dargestellt. Es bezeichnen 1 den Diamant, 2 den Dorn, auf welchen die zu theilende Scheibe gekittet wird, 3 ein durch eine Schraube ohne Ende bewegliches Schneckenrad, das getheilt und mit Index und zweiten Sectoren für Viertels- und halbe Umdrehungen versehen ist, wobei der Kreis in 1000 Theile oder auf $0^0\ 21'\ 36''$ getheilt ist. 4 ist die Schraubenspindel mit 100 Gängen auf den Zoll. 5 ist die Curbel zum Drehen der Spindel mit federnden Sectoren für Unterabtheilungen $\frac{1}{10000}$ Zoll, falls sich ein Diamant finden sollte, der hinreichend feine Linien zieht. 6 ist eine aus Claviersaitendraht verfertigte Feder. 7 bezeichnet eine Druckfeder, die auf eine Glaswalze wirkt. 8, 9, 10 sind Federn zum Reguliren des Druckes

Digitized by Google

— eine oben, eine unten und eine an der Seite. 11 ist ein getheilter Kreisbogen von 90°, der noch Abtheilungen von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{1000}$ Zoll gesondert gibt. 12 bezeichnet eine mit zwei Handhaben versehene Curbel zum Einschalten des automatischen Reisserwerks. 13 ist ein Windflügel zum Reguliren der Rotation der Kammscheibe. 14 ist ein Drücker mit Federn, womit die Maschine in Gang gesetzt wird.

Stefan. Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen.

(Wiener Academ. Anzeiger 1872. Nr. VI.)

Herr Prof. Stefan überreichte der Wiener Academie eine Abhandlung, welche die Darstellung der zur Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens der Luft ausgeführten Versuche und ihre Resultate enthält. Die verschiedenen angewandten Methoden zerfallen in zwei Arten.

Nach der ersten Art wurde die in Cylindern eingeschlossene Luft einseitig, entweder von oben erwärmt oder von unten abgekühlt. Die eingeschlossene Luft selbst bildete die thermometrische Substanz. Durch manometrische Messung konnte für jeden Zeitpunct ihre Mitteltemperatur bestimmt werden. Die für das Leitungsvermögen berechnete Zahl fällt bei diesen Versuchen zu klein oder zu gross aus, je nachdem die Wände die Wärme langsamer oder schneller leiten als die Luft. Der erste Fall trat ein, wenn die Wände aus Glas, auch noch, wenn sie aus Eisen, der letzte, wenn sie aus Zink waren. Es steht demnach die Luft als Temperaturleiter zwischen Eisen und Zink

Nach der zweiten Art wurde eine abgeschlossene Luftmasse von allen Seiten gleichmässig erwärmt oder abgekühlt. Bei den ersten Versuchen wurden kugelförmige Luftthermometer aus Kupferblech angewendet. Die aus den Versuchen berechneten Werthe des Leitungsvermögens werden wegen des Einflusses der Strömungen zu gross. Bei den letzten Versuchen wurden doppelwändige Luftthermometer (Diathermometer) aus Kupfer- oder Messingblech angewendet, das auf die Leitung zu untersuchende Gas füllt den Raum zwischen den beiden Metallhüllen. Die mit verschiedenen Apparaten gefundenen Werthe stimmen untereinander sehr genau. Das Leitungsvermögen der Luft ist 0.000056 (Centimeter, Secunde, Gramm), nahe 20,000mal kleiner als das des Kupfers, 3400mal kleiner als das des Eisens. Die von Maxwell aus der dynamischen Theorie der Gase vorausberechnete Zahl ist 0.000055. Ebenso bewährte sich das von der Theorie vorhergesagte Gesetz der Unabhängigkeit des Leitungsvermögens der Luft von ihrer Dichte, ebenso wurde mit der Voraussage Maxwell's gleich das Leitungsvermögen des Wasserstoffes siebenmal grösser gefunden als das der Luft. Nach den Resultaten dieser Versuche muss also die dynamische Theorie der Gase als eine der am besten begründeten physicalischen Theorien betrachtet werden.

Digitized by Google

Verschiedene Versuche über Reibungselectricität.

Von

Eduard Hagenbach.

I. Erzeugung der Electricität durch Reibung.

Die Erzeugung der Electricität oder vielmehr die Trennung der beiden Electricitäten durch Reibung ist bekanntlich noch in ein tiefes Dunkel gehüllt; und jeder, der auch nur oberflächlich die Angaben der verschiedenen Autoren über die beim Reiben auftretenden Electricitäten angesehen hat, weiss, wie widersprechend dieselben in mancher Hinsicht sind. Es erklärt sich dies aus der in manchen Fällen erwiesenen Thatsache, dass die scheinbar geringfügigsten Verschiedenheiten in der Beschaffenheit der Oberfläche oder der Art des Reibens die entgegengesetzte Vertheilung der Electricität bewirken können. Ohne eine systematische Untersuchung dieser in gar manchen Beziehungen noch unaufgeklärten Thatsachen vorzunehmen, habe ich mehr beiläufig, theilweise durch Zufälligkeiten geleitet, eine Anzahl Versuche über die beim Reiben auftretende Electricität gemacht, welche zur Bestätigung und Ergänzung der mannigfaltigen von verschiedenen Forschern angestellten Experimente dienen können; ich theile einige derselben hier mit, die vielleicht für einlässlichere Untersuchungen einen Anhaltspunkt abgeben dürften.

Die Art der Electricität wurde gewöhnlich mit einem empfindlichen Fechner'schen Säulenelectroscop bestimmt; zur Controle der Versuche bediente ich mich zuweilen auch des gewöhnlichen Electroscops mit zwei Goldblättchen.

Glas. Gewöhnlich wird angenommen, dass Glas mit einem Katzenpelz gerieben negativ werde. Als ich eine Glasröhre oder einen Glasstab mit dem Pelz einer Wildkatze rieb, so würde dieselbe bald positiv, bald negativ, und ich habe versucht, die Umstände etwas genauer zu bestimmen, welche bald das Eintreten der einen, bald das

Digitized by Google

der andern Electricität begünstigen. So weit ich die Sache untersucht habe, scheinen mir vier Einflüsse von Wichtigkeit zu sein, nämlich:

I. Der Gegensatz vom Streichen nur in einer Richtung und von Hin- und Herstreichen.

II. Die verschiedenen Stellen des Pelzes.

III. Der beim Reiben ausgeübte Druck.

IV. Der Gegensatz der reibenden und der geriebenen Fläche.

Der Gegensatz I war deutlich zu bemerken am Pelz der Hinterbeine und des Halses; beim Reiben nach einer Richtung wurde das Glas negativ, beim Hin- und Herreiben positiv.

Der Einfluss II zeigte sich in der Weise, dass beim Reiben nach einer Richtung an Hals, Vorderbeinen und Hinterbeinen das Glas negativ, beim Reiben am Rücken positiv wurde. Die Verschiedenheit der Haare an den betreffenden Stellen ist sehr bemerklich, indem am Hals und an den Beinen der Pelz weicher, am Rücken dagegen rauher ist.

Der Einfluss III war zu constatiren am Pelz der Hinterbeine; beim Reiben mit leichtem Druck wurde das Glas negativ, beim Reiben mit starkem Druck positiv.

Der Einfluss IV beruht darauf, ob beim Reiben immer neue Theile des Pelzes mit den gleichen des Glases zusammen treffen oder umgekehrt. Zu diesem Versuche war hauptsächlich der Pelz der Vorderfüsse geeignet. War der Pelz reibende Fläche, d. h. bewegte man auf derselben Stelle des Pelzes das Glas hin und her, so wurde das Glas positiv; war aber das Glas Reiber, d. h. führte man die gleiche Stelle des Glases über verschiedene Stellen des Pelzes hinweg, so wurde das Glas negativ.

Bei allen diesen Versuchen war das Glas gleich beschaffen, es war glattes Glas, das nicht durch die Weingeistflamme gezogen war. Nimmt man mattgeschliffenes Glas oder eine durch eine Weingeistflamme gezogene Glasstange, so wird beim Reiben mit dem Pelz das Glas immer negativ.

Beim Reiben mit einem Fuchsschwanz konnten die obigen Gegensätze nicht erhalten werden, das Glas wurde immer positiv.

Porzellan. Den Unterschied beim Reiben des gleichen glatten und rauhen Körpers, den man gewöhnlich mit Glasstangen anzustellen pflegt, kann man auch sehr gut mit Porzellanröhren zeigen. Mit Wolle

Digitized by Google

oder Seide gerieben, wird eine glatte Porzellanröhre positiv, eine rauhe aber negativ.

Ein für den ersten Augenblick eigenthümliches Verhalten zeigt eine rauhe Porzellanröhre, wenn sie mit vulcanisirtem Cautschuck gerieben wird. Anfänglich wird sie nämlich durch Reiben positiv; reibt man dann einige Zeit mit starkem Druck, so wird sie negativ und zeigt von da an immerfort beim schwachen und starken Reiben mit vulcanisirtem Kautschuk negative Electricität. Es ist diese Erscheinung erklärlich durch die Annahme, dass beim Reiben mit vulcanisirtem Kautschuk etwas Schwefel oberflächlich hängen bleibt; es wird dies dadurch gerechtfertigt, dass durch die Flamme oder durch Reinigen mit chemischen Agentien die Eigenschaft negativ zu werden schwindet, während sie durch Reiben mit Schwefelblumen wieder ertheilt wird.

Papier. Das trockene Papier wird in der Reihe gewöhnlich zwischen Wolle und Seide gestellt. Es ist dies insofern richtig, als man allerdings leicht eine bestimmte Sorte von Papier finden kann, die in ganz bestimmter Weise mit einem bestimmten Wollenzeug gerieben negativ und mit bestimmter Seide gerieben positiv wird. Allein die Beschaffenheit der Seide, des Papieres und der Wolle, so wie auch die Art des Reibens wirken in solchem Grade bestimmend ein, dass es ebenso leicht ist, Papier zu finden, das mit Seide und Wolle gerieben, beide Male positiv, als auch solches, das beide Mal negativ wird.

Schon der Stoff und die Textur des Papieres haben einen bedeutenden Einfluss, ohne dass es nur möglich wäre, bestimmt allgemeine Grundsätze auszusprechen.

Ein glattes hier in Basel verfertigtes Handpapier konnte ich nur durch Reiben mit einem Katzenpelz oder weichen Kaninchenpelz negativ erhalten, während dasselbe beim Reiben mit anderen Pelzen, z. B. mit Marderpelz, ferner beim Reiben mit der Hand, mit Wolle, mit Seide u. s. f. stets positiv wurde; beim Reiben mit vulcanisirtem Kautschuk oder mit Schiessbaumwolle wurde es sehr stark electrisch, so dass man beim Annähern der Hand sehr deutlich das electrische Knistern hörte. Diesem Papiere standen in ihrem Verhalten ziemlich nahe ein altes etwas rauhes Papier aus dem Anfang des 16. Jahrhunderts, ein chinesisches Papier und sogenanntes Seidenpapier; doch hatten diese Papiersorten schon mehr Neigung, negativ zu werden,

Digitized by Google

indem sie beim Reiben mit der Hand unter Umständen negativ wurden; beim Reiben mit einem weissen Flanelllappen wurden sie gewöhnlich negativ, beim Reiben mit einem grünen Flanelllappen, so wie beim Reiben mit Seide positiv. Ein Handpapier aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde beim Reiben mit beiden Flanelllappen negativ, mit Seide gerieben aber positiv. Die meisten anderen Papiere, die ich untersucht habe, und die in Bezug auf ihre Beschaffenheit unter einander sehr verschieden waren, wurden mit Pelz, Hand, Wolle und Seide gerieben negativ, beim Reiben mit Schwefel, Kautschuk, und zwar gewöhnlichem wie vulcanisirtem, und ganz besonders beim Reiben mit Schiessbaumwolle positiv. Wird das ersterwähnte glatte Handpapier mit irgend einer andern Papiersorte gerieben, so wird es natürlich immer positiv.

In Betreff des Einflusses des Stoffes kann vielleicht aus den obigen Versuchen geschlossen werden, dass die festen gewöhnlich mehr Leinen enthaltenden Handpapiere mehr Neigung haben positiv zu werden als die lockeren mehr Baumwolle enthaltenden Maschinenpapiere; doch müssten noch mannigfaltigere Versuche mit Papieren angestellt werden, deren Stoff und Fabricationsweise genau bekannt ist, um bestimmten Aufschluss über diese Frage zu erhalten.

Die Art des Reibens hat ferner auch einen sehr bedeutenden Einfluss. So zeigen die erwähnten alten Handpapiere, das chinesische Papier und das sogenannte Seidenpapier das eigenthümliche Verhalten, dass sie beim heftigen Hindurchziehen durch die Finger negativ, hingegen bei sanftem Hindurchziehen und besonders beim sanftem Hin- und Herreiben positiv werden. Man kann so mehrere Male abwechslungsweise hinter einander mit Willkühr die eine oder andere Electricität durch Reiben mit den Fingern hervorrufen; nachdem aber die Papiere längere Zeit gerieben worden sind, zeigen sie allgemein sowohl bei heftigem als sanftem Reiben positive Electricität. Lässt man dann die Papiere einige Zeit an einem warmen trockenen Orte liegen, so kehrt das frühere Verhalten wieder zurück. Zuweilen ist es mir auch beim Reiben mit gewöhnlichen Sorten Maschinenpapier gelungen, in der angegebenen Weise die verschiedenen Electricitäten hervorzurufen. Es muss hier noch bemerkt werden, dass diese Versuche nicht immer mit gleicher Sicherheit gelingen, und dass das gleiche Papier zeitweise, wohl in Folge eines verschiedenen hygroscopischen Zustandes, bald etwas mehr zur positiven und bald etwas mehr zur negativen Electricität hinneigt.

Digitized by Google

Auch die Rauhheit der Oberfläche scheint beim Papier wie in anderen Fällen einen Einfluss zu haben.

Beim Reiben von gewöhnlichem Maschinenpapier mit rauhem Packpapier wurde regelmässig das Schreibpapier negativ und das rauhe Packpapier positiv; während das gleiche Packpapier gerieben mit der Hand stets negativ wurde. Der Umstand, dass hier das rauhe Papier positiv wird, widerspricht der von Coulomb aufgestellten und häufig angenommenen Ansicht, dass der rauhere Körper mehr Neigung habe, die negative Electricität zu zeigen. Das obenerwähnte so sehr zur positiven Electricität geneigte Handpapier wird auch mit dem rauhen Packpapier gerieben positiv.

Auch der Unterschied zwischen reibender und geriebener Fläche ist beim Papier auf sehr bequeme Weise zu studiren, indem man einen Papierstreifen zwischen gefalztem Papier gleicher Sorte hindurchzieht. Es zeigt sich in diesem Fall bald keine Electricität, bald ist der hindurchgezogene Streifen, d. h. die geriebene Fläche, positiv und die reibende negativ, bald umgekehrt. Es war mir bis jetzt nicht möglich, genau die Umstände herauszubringen, welche die Entwicklung der einen oder der andern Electricität bewirken; bekanntlich ist es dem erfahrenen Electriker Riess ganz ähnlich gegangen. Nur einige Puncte sind mir aufgefallen, die ich erwähnen will. Wenn das Papier frisch genommen wird, so ist gewöhnlich der hindurchgezogene Streifen negativ; wenn dann aber derselbe einige Zeit lang immer auf gleiche Weise hindurchgezogen worden ist, tritt zuerst ein Zustand ein, wo gar keine Electricitätsentwicklung auftritt; bei weiterem Hindurchziehen zeigt sich dann die entgegengesetzte positive Electricität und oft in ganz gleich starkem Grade wie früher die negative. Zuweilen kann man nun längere Zeit 20, 30 mal und öfter den Streifen hindurchziehen und hat immer die gleiche Electricität, zuweilen ist es aber auch so, dass gleichsam höchst willkürlich bei scheinbar ganz gleichem Hindurchziehen bald positive, bald negative Electricität auftritt. Auffallend war ferner, dass häufig, wenn der Streifen längere Zeit immer nach der gleichen Richtung hindurchgezogen stets die gleiche Electricität gab, dann beim Umkehren des Streifens und Herausziehen in entgegengesetzter Richtung sogleich die entgegengesetzte Electricität auftrat. Dieser Versuch ist mir so häufig in auffallender Weise gelungen, dass ich geneigt wäre, dies als allgemeine Regel aufzustellen, wenn nicht wieder einige Male, ohne dass irgendwie der

Digitized by Google

Grund davon einzusehen war, die Umkehrung des Streifens keine Umkehrung der Electricitätsart nach sich zog.

Das Pergamentpapier, das durch Einwirkung von Schwefelsäure erhalten wird, hat ähnlich einigen oben erwähnten Handpapiersorten mehr Neigung zur positiven Electricität als die meisten Papiersorten.

Dass das Pyroxylinpapier eine ganz besondere Neigung hat, durch Reiben electrisch zu werden, hat bekanntlich zuerst Schönbein[1]) gezeigt.

Neuerdings hat Poggendorff[2]) dem electrischen Verhalten dieses Stoffes seine Aufmerksamkeit zugewandt. Nicht nur beim Reiben mit der Hand und mit Seide, sondern auch mit vulcanisirtem Kautschuk wird das Pyroxylinpapier entschieden negativ; beim Reiben mit Schiessbaumwolle jedoch zeigt es deutlich positive Electricität.

Poggendorff empfiehlt Pyroxylinpapier, das zwischen den Fingern hindurchgezogen worden ist, als ein in vielen Fällen brauchbares Electroscop für die Entdeckung negativer Electricität. Um ein entsprechendes Electroscop für positive Electricität zu erhalten, empfiehlt er, dasselbe mit Spiegelamalgam zu reiben, da das Pyroxylinpapier mit Spiegelamalgam, wie auch ich mich überzeugt habe, positiv electrisch werde. Viel einfacher zur Erlangung eines entsprechenden Electroscopes für positive Electricität scheint mir zu sein, einen trockenen Streifen gewöhnliches Papier zu nehmen und denselben mit vulcanisirtem Kautschuk oder, noch besser, mit Schiessbaumwolle zu reiben.

Ueberhaupt können die verschiedenen Papiersorten sehr gut dazu dienen, eine Anzahl anschaulicher Versuche über die Entstehung der Electricität durch Reibung anzustellen, was besonders für den Unterricht sehr zu empfehlen ist, da solche Versuche von jedem Schüler leicht wiederholt werden können.

Werden trockenes Papier und Pyroxylinpapier an einander gerieben, so haften sie sehr stark einander. Mit Hülfe eines geriebenen electrischen Papieres kann man mit Leichtigkeit das Kügelchen eines electrischen Pendels so heben, dass der Faden senkrecht in die Höhe steht. Hält man nun das Kügelchen des electrischen Pendels unter dem Einfluss von negativ-electrischem Papier in dieser Lage, so kann

1) Pogg. Annalen LXVIII. 159.
2) Pogg. Annalen CXXXI. 631.

Digitized by Google

man auf sehr anschauliche Weise die entgegengesetzte Electricität z. B. des geriebenen Glases und des geriebenen Harzes zeigen. Bei Annäherung des Harzes von oben bleibt das Kügelchen in der Höhe, bei Annäherung des Glases fällt es herunter.

Bei seitlicher Annäherung der geriebenen Körper sieht man sehr deutlich die Anziehung des Kügelchens durch das Harz und die Abstossung durch das Glas.

Auch die Fundamentalversuche über electrische Anziehung und Abstossung können sehr anschaulich mit Papierstreifen gemacht werden. Man kann die Versuche natürlich auf die mannigfaltigste Weise modificiren; ich erwähne Beispiels halber nur einige, die nach dem oben gesagten selbstverständlich sind:

Zwei Streifen von Pyroxylinpapier, beide durch die Finger gezogen oder, noch besser, mit Pelz gerieben, stossen sich ab, und zeigen, wenn sie auf der einen Seite mit zwei Fingern zusammengehalten werden, eine sehr deutliche Divergenz. Wird ihnen von unten eine mit Pelz geriebene Horngummistange (Kammmasse, Ebonit) genähert, so wird die Divergenz vermehrt. Der gleiche Versuch kann auch mit den meisten Sorten gewöhnlichen Papieres gemacht werden.

Zwei Streifen gewöhnliches trockenes Papier, beide mit vulcanisirtem Kautschuk oder, noch besser, mit Schiessbaumwolle gerieben, stossen sich ebenfalls sehr deutlich ab. Wird jedoch nun von unten eine mit Pelz geriebene Horngummistange genähert, so wird die Divergenz vermindert.

Zwei Streifen, der eine von gewöhnlichem Papier, der andere von Pyroxylinpapier, beide mit Kautschuk gerieben, ziehen sich an.

Zwei Streifen von gewöhnlichem Papier, der eine mit Pelz, der andere mit Schiessbaumwolle gerieben, ziehen sich ebenfalls an.

Seide. Bekannt ist, dass Symmer schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts gezeigt hat, dass wenn schwarze und weisse Seide mit einander gerieben werden, die weisse stets positiv und die schwarze stets negativ wird. Weisse und braune Seide, die mir gerade zufällig zur Disposition standen, zeigten diesen Einfluss des Färbemittels in sehr auffallendem Grade, bei der leichtesten Reibung war die weisse Seide entschieden positiv und die braune negativ. In der Spannungsreihe liegen diese beiden Seidenarten so weit auseinander, dass eine ganze Anzahl von Körpern, wie rohe Seide, Wolle, Leder, Holz, Bernstein, Kiesel, einige Papiersorten u. a. m. zwischen

Digitized by Google

den beiden Seidensorten liegen und mit der weissen Seide gerieben negativ, mit der braunen gerieben positiv werden.

Ein Analogon zu dem bekannten Versuche Bergmann's, dass von kreuzweise geriebenen Bändern das transversal geriebene negativ, das longitudinal geriebene positiv wurde, bildet das Reiben von Sammtbändern. Werden zwei Sammtbänder, dass eine mit der Vorder-, das andere mit der Rückseite auf einander gerieben, so zeigt das auf der Vorderseite geriebene positive, das auf der Hinterseite geriebene negative Electricität.

Metalle. Durch folgende Beobachtung bin ich veranlasst worden, über die beim Reiben von Metallen mit Nichtleitern entstehende Electricität einige Versuche anzustellen.

Herr Chemiker Gysin und Herr Dr. Brefin haben mich darauf aufmerksam gemacht, dass in einer hiesigen Fabrik ein über eine Eisenrolle laufender lederner Triebriemen so stark electrisch wird, dass sich im Dunkeln sehr deutlich die electrischen Büschel zeigen, welche aus spitzen Leitern, z. B. den Fingerspitzen ausströmen, wenn sie dem Riemen genähert werden; bei trockenem Wetter sind die Büschel noch bei Abstand des Leiters von einem Fuss ganz deutlich zu sehen. Schon der Umstand, dass die Büschel ihre Basis an dem Körper haben, der dem Riemen genähert wird, zeigte an, dass der Riemen negativ electrisch ist. Bei der Untersuchung mit dem Electroscop wurde dies bestätigt. Eine weitere Untersuchung hat gezeigt, dass in der betreffenden Fabrik alle schnell laufenden Transmissionsriemen aus Leder, die schon in Folge der hin- und hergehenden Bewegung mit der Rolle reiben, mit Hülfe des Electroscops sehr deutlich als negativ electrisch sich erwiesen. Am Metall, das abgeleitet war, konnte natürlich keine Electricität nachgewiesen werden. Es ist mir aber mitgetheilt worden, dass in einer andern Fabrik, wo die die Rolle enthaltende eiserne Maschine auf Asphalt stand, diese letztere so stark electrisch wurde, dass daraus Funken übersprangen, und dass dem Uebelstande durch eine Ableitung abgeholfen werden musste.

Durch einen sehr einfachen Versuch kann man sich davon überzeugen, dass Eisen oder Stahl mit Leder gerieben positiv electrisch wird. Man braucht nämlich nur einen Schlüssel oder ein Messer mit isolirender Kautschukplatte zu halten und damit über einen ledernen Streichriemen zu fahren, so lässt sich deutlich daran die negative Electricität nachweisen. Allerdings geht der Versuch nicht mit jeder

Digitized by Google

Ledersorte, indem z. B. weisses Handschuhleder das Eisen negativ electrisch macht. Mit einem Katzenpelz gerieben, wird das Eisen natürlich ebenfalls negativ, sonst aber mit den meisten Substanzen, wie z. B. auch mit Wolle und Seide, positiv.

Beim Untersuchen der Electricität, welche die Metalle beim Reiben geben, ist es bekanntlich sehr wesentlich, dass sie gut isolirt sind. Zu dieser Isolation ist der Horngummi sehr geeignet. Als Probekügelchen bei electrischen Versuchen bediene ich mich, wie das jetzt häufig geschieht, einiger Messingkügelchen, die vorn an Federnhaltern aus Horngummi befestigt werden. Ein solcherweise isolirtes Messingkügelchen ist auch sehr tauglich, um die Entwicklung der Electricität durch Reiben eines Leiters zu zeigen. Man braucht nämlich nur ganz leicht über irgend einen nichtleitenden Körper mit dem Kügelchen zu streichen, so zeigt das Säulenelectroscop gleich die Electricität an. In Bezug auf die Art der Electricität verhält sich das Messing ganz anders als das Eisen, indem es eine ganz besondere Neigung hat, durch Reiben negativ zu werden. Die einzigen Körper, mit denen ich durch Reiben das Messing positiv electrisch machen konnte, waren die Schiessbaumwolle und das Pyroxylinpapier. Doch gelang auch dies nicht immer, und häufig wurde das Messing auch mit Schiessbaumwolle gerieben negativ und die Schiessbaumwolle deutlich positiv. Ich suchte die Umstände zu ermitteln, die hier maassgebend sind, und habe durch vorläufige Versuche, die wohl eine weitere Verfolgung verdienen möchten, folgendes ermittelt:

Wenn das Messing mit Smirgelpapier frisch abgerieben oder auch durch eine Weingeistflamme gezogen ist, so zeigt es regelmässig beim Reiben mit Schiessbaumwolle positive Electricität.

Wird nun das Messingkügelchen über eine Schwefelstange gestrichen, mit Schwefelblumen oder auch mit vulcanisirtem Kautschuk, der überschüssigen Schwefel hat, gerieben, so wird es dadurch so umgeändert, dass es nachher mit Schiessbaumwolle gerieben negativ wird. Dass hier nicht, wie es bei dem Porzellan der Fall war, einfach der an der Oberfläche des Messings hängen bleibende Schwefel an der Umstimmung schuld sein kann, ergiebt sich daraus, dass Schwefel mit Schiessbaumwolle gerieben sehr deutlich positiv wird. Es liegt somit die Vermuthung nahe, dass sich in diesem Falle oberflächlich eine Schwefelverbindung bildet, die mit Schiessbaumwolle gerieben negativ wird. Der Umstand, dass Abreiben mit Smirgelpapier oder Hindurchziehen

Digitized by Google

durch eine Weingeistflamme die Eigenschaft, mit Schiessbaumwolle negativ zu werden, dem Messing nimmt, kann zur Rechtfertigung dieser Anschauung dienen. Schwefelwasserstoff, den man über die Messingkugel strömen lässt, giebt ihm jedoch die Eigenschaft, negativ zu werden, nicht; auch die Mineralien Kupferglanz und Kupferkies, die natürlich vorkommende Schwefelverbindungen des Kupfers sind, werden nicht negativ mit Schiessbaumwolle. Eine Messingplatte, die mit Schwefelblumen abgerieben ist, erhält ebenfalls die Eigenschaft, die Schiessbaumwolle positiv zu machen. Statt Schiessbaumwolle kann man auch Collodium anwenden, und es gelingt im Allgemeinen damit der Versuch noch besser. Ich muss noch beifügen, dass ich durch Bestreichen mit Schwefel nicht immer gleich schnell und gleich zuverlässig die Umstimmung des Messings erhalten habe, zuweilen gelang es schon, wenn nur einige Male ganz leicht mit dem Messingkügelchen über die Schwefelstange gestrichen wurde, während ich andere Male öfter über die Schwefelstange hin- und herstreichen und dann noch das Messingkügelchen mit Wolle oder vulcanisirtem Kautschuk reiben musste. Sehr wesentlich ist, dass die Oberfläche des Messings rein metallisch ist, bevor man damit über den Schwefel streicht.

Das Reiben mit geschwefeltem Messing ist für mich bis jetzt die einzige Art, Schiessbaumwolle durch Reiben entschieden positiv electrisch zu machen, indem ich beim Reiben mit Spiegelamalgam, abweichend von Poggendorff's Angabe, die Schiessbaumwolle stets negativ erhalten habe. Silber, Kupfer, Zink, Zinn, Blei wurden mit Schiessbaumwolle gerieben positiv und durch Einreiben mit Schwefel war es mir nicht möglich, diese Metalle so umzustimmen, dass sie wie Messing mit Schiessbaumwolle gerieben negativ wurden; doch habe ich bis jetzt mit diesen andern Metallen nur ganz oberflächliche Versuche angestellt.

II. Menschenhaar-Electroscop.

Vor einigen Jahren hat v. Kobell[1]) angegeben, dass mit den Haaren, welche beim Gemsbock im Spätherbst über den Rücken hinstehen und den sogenannten Gemsbart bilden, empfindliche Electroscope erhalten werden können. Wie mir scheint, erhält man die gleiche Empfindlichkeit bei Anwendung eines längeren trockenen Menschen-

1) Pogg. Annalen CXVIII. p. 594. Carl, Repertorium III. 381.

Digitized by Google

haares. Gerieben mit einem Katzenpelz wird dasselbe positiv und gerieben mit Schiessbaumwolle negativ. Die Masse eines solchen Menschenhaares und somit auch die auf ihm angehäufte Electricitätsmenge ist sehr gering, so dass die Electricität am Säulenelectroscop nicht zu erkennen ist; doch ist sie sehr deutlich zu erkennen an der abstossenden Wirkung, die eintritt, wenn man einen Körper gleichnamiger Electricität nähert. Gerade die kleine Masse des electrischen Haares kann bei der Anwendung als Electroscop von Werth sein, da wo die Electricität an sehr kleinen Körpern, z. B. an kleinen Mineralien, untersucht werden soll.

III. Electrische Grundversuche.

Wenn es sich beim Unterricht darum handelt, die electrischen Grunderscheinungen, d. h. die Anziehung zwischen einem electrischen und einem unelectrischem Körper, die stärkere Anziehung zwischen verschiedenartig electrischen Körpern und die Abstossung zwischen electrisch gleichartigen Körpern durch Versuche zu klarer Anschauung zu bringen, so bedient man sich gewöhnlich des electrischen Pendels, einer mit vulcanisirtem Kautschuk geriebenen Glasstange und einer mit Pelz geriebenen Harzstange, die neuerdings gewöhnlich sehr zweckmässig durch eine Horngummistange ersetzt wird. Abgesehen davon, dass das Glas in Folge seiner hygroscopischen Eigenschaft nicht immer zuverlässig ist, lässt sich von pädagogischer Seite gegen die gewöhnliche Darstellung einwenden, dass dabei zu viel auf ein Mal erklärt werden muss. Die richtige Auffassung der Erscheinung, dass ein Hollunder-Kügelchen vom geriebenen Glas erst angezogen und dann abgestossen wird, setzt schon die Erklärung der Mittheilung der Electricität voraus; diese aber ist nur richtig aufzufassen mit der Annahme der entgegengesetzten Electricitäten und ihrer Ausgleichung; so ist ein Cirkel in der Darstellung nicht leicht zu vermeiden. Ich habe deshalb für die electrischen Grundversuche mir einen sehr einfachen Apparat construiren lassen, der mir besonders für den Unterricht in den Elementen der Physik, wo man auf eine überzeugende klare logische Darstellungsweise zu sehen hat, empfehlenswerth erscheint. Der Apparat ist eine Combination der bekannten electrischen Nadel und eines von Frick in seiner technischen Physik, so wie auch von J. Müller in seiner Experimentalphysik angegebenen Apparates, bei

Digitized by Google

welchem Harz- und Glasstangen mittelst eines Bügels an einem Faden aufgehängt werden. Der von mir construirte Apparat besteht einfach aus zwei circa 25cm. langen und 1cm. dicken Stäbchen von Horngummi, von welchen das eine, oder noch bequemer alle beide in der Mitte ähnlich einer Magnetnadel ein Hütchen haben und in horizontaler leicht beweglicher Lage auf eine feststehende Stahlspitze aufgesetzt werden können.

Wird dieses Stäbchen mit einem Katzenpelz oder mit Seide gerieben, so zieht es kleine unelectrische Körper an, und auf die Spitze gesetzt wird es von einem unelectrischen Körper, z. B. von der Hand angezogen und kann von derselben mit Leichtigkeit im Kreise herumgeführt werden. Ganz das gleiche Verhalten tritt ein, wenn das Horngummistäbchen auch mit andern Körpern, z. B. mit Schiessbaumwolle gerieben wird. — Durch die beschriebenen Versuche wird gezeigt, dass auf verschiedene Weise geriebener Horngummi unelectrische Körper anzieht, und von unelectrischen Körpern angezogen wird. Das directe Zeigen dieser nach unsern jetzigen mechanischen Anschauungen selbstverständlichen Reciprocität halte ich Anfängern gegenüber von einiger Wichtigkeit.

Nun zeigt man ferner, dass wenn man das mit Pelz geriebene Stäbchen auf die Stahlspitze setzt und ihm das zweite ebenfalls mit Pelz geriebene Stäbchen nähert, energische Abstossung eintritt, und dass dasselbe geschieht, wenn beide Stäbchen mit Schiessbaumwolle gerieben sind. — Aus diesen Versuchen ergiebt sich die Abstossung von Körpern, die auf gleiche Weise in den electrischen Zustand versetzt sind.

Wird nun aber das mit Pelz geriebene Stäbchen auf die Spitze gesetzt und ihm das mit Schiessbaumwolle geriebene genähert oder umgekehrt, so zeigt sich energische Anziehung. Aus diesem Versuch folgt das Vorhandensein zweier entgegengesetzter Electricitäten und die Anziehung von Körpern, die durch verschiedenartige Behandlung in den entgegengesetzten Zustand gebracht sind.

Man kann nun ferner die eine Hälfte des einen oder auch beider Stäbchen mit Pelz und die andere mit Schiessbaumwolle reiben und so polarelectrische Körper herstellen. Es kann dies besonders dann dienen, wenn man die Analogien und die Differenzen der magnetischen und electrischen Kräfte zeigen will.

Wie man mit dem beschriebenen Apparate mit Leichtigkeit zeigen kann, dass beim Reiben immer die beiden entgegengesetzten Electri-

Digitized by Google

citäten auf den beiden Körpern auftreten, ist leicht ersichtlich, so wie auch, dass das mit Pelz geriebene Stäbchen auf der Spitze ein empfindliches Electroscop für negative und das mit Schiessbaumwolle geriebene ein empfindliches Electroscop für positive Electricität abgibt, besonders wenn man zur Erreichung eines geringern Gewichtes und Verminderung der Reibung die Stäbchen etwas dünn macht, auch wird bei dünnen oberflächlich geriebenen Stäbchen die Electricitätsmenge im Vergleich zur Masse grösser.

Die Vortheile der angedeuteten Versuchsweise liegen darin, dass man ruhig Schritt für Schritt weiter geht, dass die Mittheilung der Electricität dabei ganz ausser Spiel gelassen wird, und dass es immer derselbe Körper ist, der in Folge verschiedener Behandlungsweise bald die eine, bald die andere Electricität zeigt, so dass dadurch dem Aufkommen der unrichtigen Vorstellungsweise vorgebeugt wird, die verschiedene Electricität sei an die Verschiedenheit der körperlichen Substanz gebunden; eine Vorstellungsweise, die gar zu leicht Platz greift, wenn man als positiv electrischen Körper stets geriebenes Glas, als negativ electrischen Körper stets geriebenes Harz wählt. Auch wirkt die Feuchtigkeit der Luft beim Horngummi lange nicht so nachtheilig als beim Glas.

Ich bemerke hier noch beiläufig, dass Horngummi nicht nur beim Reiben mit Schiessbaumwolle, Collodium und Pyroxylinpapier, sondern auch beim Reiben mit einigen Metallen (z. B. Messing) und metallähnlichen Körpern (z. B. Musivgold) positiv wird.

Der Umstand, dass Reiben mit Schiessbaumwolle fast alle Körper positiv electrisch macht, kann auch sonst zu anschaulichen Versuchen beim Unterricht verwendet werden; so kann man z. B. den Harz- oder Horngummikuchen des Electrophors durch Reiben mit Schiessbaumwolle in ganz gleicher Weise positiv erhalten wie negativ durch Reiben mit Pelz, und kann dann aus dem Deckel die negative wie sonst die positive Electricität nehmen.

IV. Schutz der Influenz-Electrisirmaschine vor Feuchtigkeit.

Bekanntlich ist es sehr schwierig, die Versuche mit statischer Electricität in einem mit Zuhörern angefüllten Auditorium anzustellen, da in Folge der Feuchtigkeit die Oberfläche der Isolatoren leitend

Digitized by Google

wird. Die Influenzmaschine ist diesem schädlichen Einflusse in ganz gleicher Weise unterworfen wie die gewöhnliche Reibungsmaschine; es sind deshalb Vorkehrungen nöthig, die diesen Einfluss beseitigen. Durch eine einfache Vorrichtung ist es mir gelungen, die verschiedenen Versuche über statische Electricität mit einer Holtz'schen Maschine in einem von Zuhörern vollgestopften Auditorium am Abend eines feuchten Wintertages auf vollkommen zuverlässige Weise anzustellen. Die Einrichtung macht durchaus nicht Anspruch auf Neuheit oder Originalität; ich bin dazu durch ähnliche Vorrichtungen, die ich an andern Orten, z. B. in Bern bei meinem Collegen Forster gesehen habe, veranlasst worden. Ich gebe hier nur die Beschreibung, da vielleicht einige Einzelheiten solchen von Werth sind, die nicht gerne durch Herausprobiren derselben Zeit verlieren.

Die ganze Maschine wird mit einem Glaskasten zugedeckt. Der aus trockenem Holz bestehende Rahmen muss natürlich so angelegt werden, dass dadurch den Zuhörern nur unwesentliche Theile der Maschine verdeckt werden; auch darf das Holz des Kastens nicht zu nahe an die Conductoren kommen, weil sonst die Funken an den Kasten überspringen. Vorn und seitlich am Kasten sind Schiebfenster angebracht, damit man die Maschine in Gang setzen, die Condensatoren untersetzen und ähnliche Manipulationen vornehmen kann; doch lässt man die Schiebfenster immer nur so lange offen als durchaus nothwendig ist. Die Achse, an der gedreht wird, erhält eine Verlängerungsstange, die durch eine Oeffnung des Kastens austritt, um die ausserhalb des Kastens befindliche Kurbel aufzunehmen. Ferner hat der Kasten seitlich runde Löcher, durch welche die Horngummihandhaben der Conductoren gehen, um bei geschlossenem Kasten von aussen gestellt werden zu können. Will man die Electricität der Maschine zum Laden von Leydner Flaschen, zum Versuch mit dem Isolirschemel, zum electrischen Puppentanz und ähnlichen Versuchen und Spielereien verwenden, so setzt man statt der mit Horngummihandhaben versehenen Conductoren andere ein, die aus Messingröhren bestehen, welche beiderseits mit Messingkugeln enden. Diese Conductoren treten durch die schon erwähnten Oeffnungen beiderseits aus dem Kasten heraus; damit die Funken nicht an den Kasten überschlagen, müssen dieselben je nach der Grösse der Maschine einen Fuss oder mehr aus dem Kasten hervorragen und auf der ganzen Länge von einem dicken Kautschukschlauch überzogen sein. Man

Digitized by Google

kann nun je nach Belieben beide Conductoren isolirt lassen, oder den einen durch Verbindung mit der Gas- oder Wasserleitung ableiten.

In dem beschriebenen Kasten muss nun, so lange man experimentirt, trockene warme Luft sein. Es wird dies dadurch erreicht, dass man in den Kasten Chlorcalcium stellt und in einem fort warme Luft hineinleitet. Diese letztere verschaffe ich mir vermittelst eines Blechofens, der mit etwas Steinkohlen geheizt wird und doppelte Wandungen hat, zwischen welchen die Luft durchstreicht und erwärmt wird. Die Verbrennungsgase werden durch ein besonderes Rohr nach aussen abgeführt, während die erwärmte Luft durch ein anderes Rohr in den Kasten geführt und darin durch Ausströmen aus vielen Oeffnungen gehörig vertheilt wird. Die Rauchröhre so wie die Luftröhre haben beide Klappen, so dass damit sowohl die Verbrennung im Ofen als die Stärke des Luftzuges regulirt werden können. Wenn man durch richtige Klappenstellung eine Temperaturdifferenz von 5 bis 6° C. unterhält, so ist der schädliche Einfluss der Feuchtigkeit vollkommen beseitigt. Zwei Thermometer, das eine im Kasten, das andere ausserhalb desselben, dienen dazu, jeder Zeit auf den ersten Blick den Temperaturunterschied wahrzunehmen.

Wie nöthig solche Vorkehrungen sind, wenn der Vorlesungsraum mit vielen Zuhörern angefüllt ist, habe ich daran am besten merken können, dass nach Wegnahme des Kastens von der Maschine, um die Einrichtung derselben deutlicher zu zeigen, es nicht mehr möglich war, auch nur die geringste Wirkung zu erhalten.

Digitized by Google

Galvanometer für absolutes magnetisches Maass.

Von

M. Th. Edelmann,

kgl. Assistent am Polytechnicum München und Inhaber eines physic.-mechan. Institutes.

(Tafel 7 u 8.)

Bei den meisten galvanischen Arbeiten empfiehlt es sich, die angewandte Stromstärke in absoluten magnetischen Stromeinheiten nach Weber[1]) auszudrücken. Es sind solche Bestimmungen, die eine hohe Genauigkeit und Sicherheit gewähren, und deshalb den andern Methoden der Intensitätsbestimmung vorzuziehen sind[2]), zum quantitativ bestimmten Ausdrucke, sowie zum Zwecke einer späteren Reproduction und Verwendung der Resultate erforderlich, eine Thatsache, deren Werth nur zu oft misskannt wird. Bei allen physikalischen Arbeiten verzeichnet man sonst Angaben über Temperatur, Barometerstand &c. und fügt überhaupt Alles bei, von dem man glaubt, dass es für Correctionen und spätere Arbeiten von Werth sein könnte; bei galvanischen Arbeiten indessen verabsäumt man meistens, die Stromstärke anzugeben, und doch wäre dieses für rein wissenschaftliche und ebenso auch für galvanotechnische Notizen (über Telegraphie, Galvanoplastik &c.) sehr von Belang. Ich erlaube mir in Bezug auf letzteren Punct nur zu erwähnen, dass man in betreffenden Werken nie eine Angabe liest darüber, zwischen welchen Grenzen sich die Stromintensität zu halten hat, dass irgend ein telegraphischer Apparat sicher arbeitet.

Es kommen diese Versäumnisse weniger von dem Mangel an angegebenen Apparaten her, die eine genaue Bestimmung solcher Grössen zulassen; auch scheut man sich sicherlich nicht vor der Mühe, die mit diesen Bestimmungen verbunden ist; sind doch die Resultate lohnend. Es kömmt dies meines Erachtens vielmehr davon,

---

1) Weber und Kohlrausch, Electro-dyn. Maassbestimmungen § 1. Wüllner, Lehrb. der Exp. Phys. II, 1147. Mousson, Lehrb. d. Physik, II, 432.

2) Vergleiche: Edelmann, Compensationsgalvanometer, Carl's Repertorium Bd. VIII, pag. 29.

Digitized by Google

dass die bis jetzt bekannten Apparate nicht so recht die Probe aushalten in Bezug auf Bequemlichkeit der Anwendung, auf Vollendung in der technischen Ausführung und Unveränderlichkeit der maassgebenden Instrumententheile: man traut diesen Apparaten nicht so recht. Der Physiker hat vor Allem den Glauben an die Unveränderlichkeit und Anwendbarkeit des Holzes (das gerade hier das Hauptmaterial der Apparate bildete) zu physikalischen Messinstrumenten verloren. Man will Apparate haben, die nicht eine fortwährende Neubestimmung maassgebender Grössen verlangen und dadurch eine gewisse Unsicherheit der Resultate mit sich bringen.

Ein Grund für die Anstellung dieser Versuche bestünde übrigens auch darin, dass es für das physikalische Practicum nicht leicht eine Aufgabe gibt, welche verschiedenartigere Arbeiten umfasst, als solche Bestimmung der absoluten Intensität von galvanischen Strömen. Indem ausser der eigentlichen galvanometrischen Arbeit die Bestimmung des magnetischen Meridians, der Horizontal-Intensität zu geschehen hat, die Variationen letzterer Grösse nebenbei zu beobachten sind und eine voltametrische Bestimmung zur Bestätigung, dass das gerechnete Resultat frei von gröberen Fehlern sei, nebenherläuft, kommen hier meist mehrfach vor: Aufstellung von Instrumenten zur Poggendorff'schen Spiegelablesung, Meridianbestimmung, Schwingungsbeobachtungen, Bestimmung von Temperatur-Coëffizienten der Magnete, von Ausdehnungs- und Torsions-Coëffizienten, Wägungen der verschiedensten Art, Bestimmung von Trägheitsmomenten etc. Ich glaube nicht zu weit zu gehen, wenn ich in Folge dessen behaupte, dass sich der getrost jeder physikalischen Arbeit unterziehen darf, welcher einmal eine Arbeit besprochenen Inhaltes mit Erzielung genügender Resultate vollständig durchgeführt hat.

Das Galvanometer, welches ich in der Folge beschreibe, verdankt seine Construction vor Allem den mannigfaltigen Wünschen und Erfahrungen der Besteller solcher Instrumente aus meiner Werkstätte, sowie der theilweisen Benutzung schon bestehender Constructionen [1]) und waren bei dessen Anlage hauptsächlich folgende Puncte maassgebend:

1) Hauptsächlich der von Lamont, beschrieben in dessen Handbuch des Magnetismus pag. 94 und Poggend. Ann. LXXXVIII, 230; Carl's Rep. III, 248.

Digitized by Google

1) Es soll zur Erzielung homogener Resultate und wegen der grösseren Billigkeit der hier in Summa zu verwendenden instrumentellen Hilfsmittel das Galvanometer so beschaffen sein, dass sich mit derselben Genauigkeit und Bequemlichkeit absolute Bestimmungen sowohl von Stromstärken ausführen lassen, als auch zugleich von der horizontalen Componente des Erdmagnetismus. (Vereinigung von Galvanometer und Magnetometer zu einem Instrumente.)

2) Es sollen alle für die Messung zu verwendenden Theile so construirt sein, dass sich ihre constanten Dimensionen und ihre richtige Lage zu einander und zum magnetischen Meridian leicht feststellen und corrigiren lassen. Hiezu kommen noch die gewöhnlichen Anforderungen an solche Instrumente bezüglich raschen Dämpfens der Magnetnadel, Möglichkeit, das Instrument auch für gewöhnliche galvanometrische Messungen benützen zu können, Compensation der erdmagnetischen Richtkraft auf die Nadel, Drehbarkeit des Spiegels in alle Lagen gegen die Magnetnadel u. s. w.

Ich werde wie in meinen früheren Abhandlungen die Mechanik des Instrumentes eingehend erörtern, und sodann eine vollständig durchgeführte Messung angeben als Anleitung für die Behandlung des Instrumentes und zum Beweise der Genauigkeit der mit demselben zu erreichenden Resultate.

Mechanik des Instrumentes.

(Tafel VII Fig. 1 Ansicht, Taf. VIII u. IX Querschnitte und Details.)

Das Instrument besteht in oberflächlicher Uebersicht zunächst aus dem Dreifuss A mit Stellschrauben, dem in denselben eingesetzten Zapfen B, dem auf B befestigten Prisma C, dem Dämpfer D, dem Spiegelgehäuse E, der Fadenbefestigung F und den auf dem Prisma C beweglichen Messingscheiben S; K ist der den Erdmagnetismus compensirende Magnetstab mit seinen Befestigungs- und Correctionsschrauben; M der Magnet, der für die Ablenkungs- und Schwingungsversuche bei erdmagnetischen Messungen gebraucht wird. Alle diese Stücke mit Ausnahme der Magnete sind selbstverständlich von eisenfreiem Messing, der Dämpfer aus galvanoplastisch abgeschiedenem, gegossenem und dann geschmiedetem Kupfer.

Der Dreifuss, auf dem das ganze Instrument ruht und dessen Formen sich aus Figur 1 und 2 ergeben, ist wegen der Stabilität

Digitized by Google

des Instrumentes ziemlich schwer und weit ausgreifend; er trägt in geschlitzten Muttern die 3 Stellschrauben *aaa*. Sein Mittelstück ist conisch ausgedreht und nimmt den Zapfen *B* auf. Derselbe kann durch die Klemmschraube *b* gebremst werden und trägt eine Platte *c* (Fig. 5), die zur Befestigung des Prisma *C* und zweier Säulen *dd* dienen. Diese Säulen tragen vermittelst der Platte *e* Fig. 3 die oberen Theile des Instrumentes.

Von dem Conus *B* nach aufwärts und von der Schraube *f* aus, welche in die Platte *e* eingreift, abwärts gehen die Stützen *h* und *g* des Dämpfers *D* aus; sie passen in dessen Aushöhlungen und der Dämpfer Fig. 2, 7, 8, dessen beide Theile durch die Schrauben *ii* zusammengehalten werden, bekommt in ihnen Führung, indem er auch um sie drehbar ist; diese Drehbarkeit des Dämpfers hat den Zweck, etwaigen Magnetismus desselben nachzuweisen.

Der Dämpfer ist centrisch durchbohrt und nimmt den ringförmigen Magneten *m* (vergl. Edelmann's Compens. Galv. Carl's Rep. Bd. VIII pag. 28) auf, der vermittelst eines durch die Ausbohrung von *g* gehenden Schildplattstäbchens *n* an dem Spiegel *s* befestigt ist; dieses Schildplattstäbchen, das sich wegen seiner hohen Elasticität nicht bleibend krumm biegen lässt, ist in den Magnetring nicht allzu schlüssig eingeschraubt, und desshalb können hier, wenn man das Stäbchen mit einer Zange festhält und den Magnetring dreht, Spiegel und Magnet beliebig gegen einander verdreht werden. Der Dämpfer wird durch halbkugelig ausgedrehte kupferne Deckel *ll* geschlossen; es bewegt sich also der Ringmagnet *m* innerhalb einer Hohlkugel,[1]) die ihm ringsherum höchstens 1,5^{mm} Spielraum gibt und überall durch grosse Kupfermassen begrenzt ist. Durch diese Einrichtung ist für den die Magnetnadel ersetzenden Ring eine Dämpfung vorhanden, die so vorzüglich wirkt, als man nur wünschen kann. Indem dadurch die Magnetnadel selbst nach grösseren Impulsen höchstens drei Schwingungen macht, braucht die eigentliche Zeit des Beobachtens des Spiegels nur so kurz zu dauern, dass sich indessen weder an der Intensität des Stromes, noch an den magnetischen Constanten etwas wesentliches geändert haben kann.

---

1) Durch diese Einrichtung ist trotz der grossen Nähe der Magnetpole am Kupfer vermieden, was Lamont wegen der von ihm behaupteten Inductions- und Retentionsfähigkeit des Kupfers für Magnetismus befürchtet.

Digitized by Google

Der Spiegel s ist von dem Spiegelgehäuse E umschlossen, dessen Einrichtung sich aus Fig. 2 ergibt. Es besteht dasselbe aus den beiden Ringen p und q, welche die Schrauben f und r aufnehmen und unter sich durch eine Stütze f_1 verbunden sind; sollte diese Stütze f_1 den Lichtstrahlen vom Spiegel s in den Weg kommen, so kann der Körper ptq gedreht werden, indem man die Schraube f löst, die ihn an die Platte e drückt. Ueber diesen Körper pq passt das eigentliche Spiegelgehäuse, eine Messinghülse mit dem Rohransatze u, welcher durch das planparallele Glas o geschlossen ist, durch das hindurch die Bewegung des Spiegels mit Scala und Fernrohr beobachtet wird.

Die Schraube r verlängert sich in die Messingröhre R, die als Träger des Compensators K und der Fadensuspension F dient, welch letztere aus Fig. 2 im Durchschnitt, Fig. 1 in der Seitenansicht, Fig. 1a in der Ansicht von Oben erläutert ist. In diesen Zeichnungen ist sie als Torsionskopf dargestellt, der durch die drei Schrauben vvv centrisch zum Instrumente gestellt werden kann, während durch w der Torsionskreis zu klemmen ist und durch die Rolle u das Aufziehen und Herablassen des Fadens besorgt wird. Indessen kann der kleine Torsionskreis nie so genau abgelesen werden, dass es sich verlohnte, denselben zu benützen. Deshalb verwende ich gewöhnlich die Fadensuspension Fig. 1b, die eine Torsion des Fadens gar nicht erlaubt, und die, so viel mir bekannt, von Lamont herrührt. Um hier den Torsionscoëfficienten des Coconfadens zu bestimmen, treibt man die Magnetnadel um je 360° mit Hilfe eines kleinen Magnetes herum[1]) und liest an der Scala wie sonst die Wirkung dieser Torsion ab.

Das Prisma C, das mit Hilfe einiger Schrauben auf dem Conus B und dem Zwischenstück c befestigt ist, dient als Führungsprisma zweier Schlitten Σ_1, Σ_2 (Fig. 1, 2, 3, 4), welche durch die Klemmschrauben $x\,x$, die in einen Schlitz des Prisma C eingreifen, auf demselben festgestellt werden können. Diese Schlitten tragen auch die Indices für die an der Theilung des Prisma C (Fig. I) abzulesende Entfernung der Scheiben S_1, S_2.

Diese Scheiben $S_1\,S_2$ sind durch die Winkel $T\,T$, je 6 Stell- und zwei Befestigungsschrauben mit den Schlitten $\Sigma_1\,\Sigma_2$ verbunden, jedoch so, dass sie mit Hilfe dieser letzterwähnten Schrauben in beliebigen Lagen festgehalten werden können. Diese Einrichtung ist

1) Lamont, Handbuch des Magnetismus pag. 318.

Digitized by Google

deshalb nöthig, weil die Scheiben $S_1 S_2$ genau parallel unter sich und senkrecht auf die Axe $U_1 U U_2$ gestellt werden müssen, was dadurch geschieht, dass man die Platten auf einer Seite des Prisma in alle verschiedenen Lagen zu einander stellt, ihre Parallelität mit Hilfe eines an beiden Enden rund geschmelzten Glasstabes prüft, so lange mit den Stellschrauben nachhilft, bis sich der Abstand aller gegenüberliegenden Puncte beider Platten als gleich erweist und die Ränder derselben, wenn sie wie bei Kohlrausch's Luftcondensator aneinander geschoben werden, sich decken. Man stellt selbstverständlich bei dem Probiren mit dem Glasstabe die Platten so weit auseinander, dass der Glasstab die beiden einander zugekehrten Flächen der Platten eben noch leise berührt.

In die Ränder der $S_1 S_2$ (Fig. 1, 3) sind Rinnen eingedreht, welche die Leitungsdrähte aufnehmen, von welchen aus die electromagnetische Wirkung des Stromes auf die Nadel stattfindet; es wird hiezu sehr dünner Kupferdraht (Durchmesser sammt Bespinnung $= 0{,}2^{mm}$) eingelegt, der einmal (oder mehremale) um die Scheibe herumgeführt wird. Die von den Scheiben abgehenden Enden der Drähte werden zusammengedreht (Fig. 1, 4), was überhaupt mit allen Leitungsdrähten zu geschehen hat, damit nicht etwa ausserhalb der Drahtwindungen liegende Stromelemente auf die Magnetnadel des Galvanometers einwirken können und werden überhaupt die Drahtleitungen zu den Rollen auf grösseren Umwegen um die Nadel und möglichst in der Horizontalebene durch den Mittelpunct derselben zugeführt.

Von den vorhin erwähnten 6 Stellschrauben, welche jede der Messingscheiben S in ihrer Lage halten und in die Winkel T eingeschraubt sind, dienen die 3 auf dem Schlitten Σ aufsitzenden auch noch dazu, die Scheiben so einzustellen, dass die Mittelpuncte derselben mit dem Mittelpuncte der Magnetnadel (und des Dämpfers) in einer Geraden, der Axe $U_1 U U_2$ liegen. Zu diesem Zwecke sind auf der dem Dämpfer zugewandten Seite der Scheibe S_2 Kreise α eingerissen, von welchen einige in Fig. 2 sichtbar sind. Werden nun durch das im Mittelpuncte U_1 der Scheibe S_1 befindliche Loch Dämpfer und Magnetring anvisirt, so kann man sich leicht überzeugen, ob die kreisförmigen Begrenzungen dieser Körper centrisch mit diesen eingerissenen Kreisen gesehen werden oder nicht und kann dann mit genannten Stellschrauben die Lage der Scheiben richtig stellen. Es versteht sich von selbst, dass nach jeder solchen Berichtigung die

Digitized by Google

Befestigungsschraube in der Mitte zwischen den Stellschrauben angezogen werden muss, um die Lage der Scheiben zu fixiren.

An die Scheibe S_2 (Fig. 1, 3) kann vermittelst zweier Schrauben ein Hohlcylinder Z angesetzt werden, der den Ablenkungsmagneten M (Fig. 10) aufnimmt. Dieser Magnet ist ein sehr genau hergestellter Stahlcylinder, an dessen eine Endfläche ein Spiegel angeschliffen ist, um die Bewegung bei den Schwingungsversuchen beobachten zu können. Das Trägheitsmoment desselben ist aus dessen Gestalt und Gewicht zu berechnen. Wie die auf den vier Seitenflächen β der Schlitten angebrachten Indices zu controliren sind, werde ich erst weiter unten, wenn von der Durchführung eines Versuchs abgehandelt wird, näher ausführen; ebenso die Messung der Durchmesser der Drahtwindungen.

Soll das Instrument als Galvanometer für gewöhnlichen Gebrauch benützt werden, so kann man an die Scheiben Drahtrollen ansetzen, wie ich eine solche in Fig. 1 bei S_1 angedeutet habe, und die ebenso eingerichtet sind, wie sie bei den Wiedemann'schen Galvanometern in Gebrauch sind.

Endlich ist dem Instrumente noch ein Compensator beigegeben, der auf die Messingröhre R, die die Fadensuspension trägt, aufgesetzt werden kann. Um R ist ein Ring G (Fig. 1, 2, 10) gelegt, der durch die Schraube H festgehalten wird. Soll der Compensator aufgesetzt werden, so wird die Schraube x gelöst und die Feder r abgenommen; hierauf der Magnet von oben herein gelegt, indem man zugleich die Feder s in den Spalt des am Ringe G befindlichen Ansatzes f einschiebt, dann r und x wieder angelegt. Die grobe Bewegung des Magnets K geschieht nach dem Lösen der Schraube H durch Verschieben des Ringes G auf dem Rohre R; die feinere Einstellung aber macht man durch die Schraube t, an welche wegen Feder s der Compensator angedrückt wird, während der Kopf der Feder r und die Ausbieguug des Compensators eine conaxiale Lagerung desselben mit Röhre R bezwecken.

Digitized by Google

Aufstellung und Gebrauch des Instrumentes.[1])

a. Bestimmung des Trägheitsmomentes des Magnetcylinders.

Man hat verschiedene Methoden, das Trägheitsmoment eines Magnetstabes zu bestimmen und findet dieselben ausführlich beschrieben in Lamont's Handbuch des Magnetismus pag. 315—318. Die meisten gründen sich darauf, dem Magnetstabe einen oder zwei Körper von bekanntem Trägheitsmomente beizugeben und aus den beiden Gleichungen für die Schwingungsdauern des Magnetes mit und ohne diese Belastung das Trägheitsmoment des Magnetstabes herauszurechnen. Indessen ist die Bestimmung der hiebei in Rechnung kommenden Dimensionen unsicher; denn die an Conconfäden hängenden Gewichte werden wegen der auftretenden Centrifugalkraft weiter, als gemessen, abstehen und werden für sich selbst um ihren Aufhängepunct pendeln, was Störungen hervorruft, während es schwer zu erreichen ist, den Schwerpunct der Belastung, hauptsächlich bei aufgelegtem Ring und eingehangenem Stabe, mit dem Schwerpuncte des Magnetstabes zusammenfallen zu machen; und schliesslich müssen mit all diesen Körpern doch Messungen vorgenommen werden, die ganz auf das Nämliche hinauslaufen, als die dimensionelle Bestimmung des Magnetstabes selbst. Ich habe deshalb, entgegen der von Lamont ausgesprochenen Ansicht[2]), versucht, dem Magnetstabe eine genau cylindrische Form zu geben, um dann aus Dimension und Gewicht das Trägheitsmoment zu rechnen. Ich gebe dieser Methode deshalb den Vorzug, weil man

---

1) Ich theile hier als begleitendes Beispiel eine Messung mit, welche in Beetz's Laboratorium am 10. October 1871 unter meiner Leitung von dem Cand. math. Herrn Eduard Salfner gemacht wurde. Das hiezu benützte Instrument befindet sich jetzt im physicalischen Cabinet des Herrn Prof. Dr. Felgel in Brünn. Der Raum, in dem experimentirt wurde, war nicht eisenfrei; besonders steht in nicht so grosser Entfernung, dass die Einwirkung ganz zu vernachlässigen wäre, im Souterrain ein vorzugsweise in Gusseisen construirter Calorifer, der etwa 12 Räume mit erwärmter Luft zu versehen hat; die Correctionen der magnetischen Constanten wurden bis jetzt nicht aufgesucht; sie kommen auch, nachdem die erdmagnetischen und galvanischen Messungen an demselben Platze gemacht wurden, hier nicht in Betracht.

2) Lamont, Handb. des Magnet. pag. 316 und Lamont, Handb. des Erdmagnetismus pag. 75.

Digitized by Google

nunmehr über vollständig homogenen Stahl verfügt[1]); dann weil man durch Wägung in Wasser eine Controle für die Messung von Länge und Durchmesser und für die Homogenität des Materiales leicht vornehmen kann; endlich, weil die Herstellung eines genau gearbeiteten Stahlcylinders[2]) mit auf der Axe senkrecht stehenden Endflächen bei den jetzigen vervollkommneten technischen Hilfsmitteln nicht gerade schwierig ist, so dass ich glaube, mit Hilfe solcher Magnetcylinder könne die Bestimmung ihres Trägheitsmomentes bequemer und wenigstens ebenso sicher geschehen, als mit Hilfe von Belastungskörpern. Eine Endfläche des Cylinders ist, wie ich schon weiter oben bemerkt habe, als Planspiegelfläche geschliffen, um die Schwingungsbeobachtung mit Hilfe von Scala und Fernrohr ausführen zu können.

Zur Bestimmung erwähnter Dimensionen wird der Magnetcylinder auf eine Theilmaschine, von der der Werth der Schraubenumgänge bekannt ist (bei unserem Beispiele mit einem Breithaupt'schen Maassstabe bestimmt), so aufgesetzt, dass das Fadenkreuz des Microscopes mit den Begrenzungen der zu messenden Dimensionen nach einander in Deckung kommt, wobei zu beobachten ist, dass die abzumessenden Längen parallel zur Schraubenaxe zu legen sind.

Es ergab sich in dem Falle des anzuführenden Versuches:

Durchmesser am polirten Ende $d_1 = 14{,}20^{mm}$
„ „ nichtpol. „ $d_2 = 14{,}30^{mm}$
Hieraus als Mittel Radius $r = 7{,}125^{mm}$
Länge $l = 47{,}50^{mm}$ und also Volumen $= 7575{,}53^{cmm}$

Um die aufgeführten Dimensionen zu controliren, wurden folgende Wägungen vorgenommen:

Gewicht in der Luft	$59320{,}6^{mgr}$
„ „ Wasser von 20,7° C.	$51762{,}9^{mgr}$
Also Gewichtsverlust	$7557{,}7^{mgr}$

Hieraus ergibt sich mit Temperaturcorrection

Volumen $= 7572{,}7^{cmm}$
Differenz mit dem berechneten Volumen . . . $2{,}83^{cmm}$

Es ist indessen hier zu bemerken, dass die Correction wegen des Hakens vernachlässigt wurde, woher die unbedeutende Differenz (0,00037 des Ganzen) rühren mag.

Aus $r = 7{,}125^{mm}$, $l = 47{,}50^{mm}$, dem Gewichte $p = 59320{,}6^{mgr}$ und der Formel für das Trägheitsmoment eines Cylinders, dessen Drehungsaxe senkrecht auf der Mitte der geometrischen Axe steht,

---

1) Ich erinnere an die vorzügliche Qualität des Huntsman-Stahles, des Krupp'schen Gussstahles etc.

2) Respective sehr spitzen Conus.

Digitized by Google

$$K = \tfrac{1}{4}\left(\tfrac{1}{3}l^2 + r^2\right)p$$

rechnet sich $\log K = 7{,}07575$ oder

$$K = 11{\cdot}006160.$$

b. Schwingungsbeobachtung zur Bestimmung der Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus.

Der Magnetcylinder wird nun an einem Faden aufgehängt, der aus zwei oder drei einzelnen Coconfäden besteht und die Zeitdauer mehrerer Schwingungen mit Hilfe der Uhr bestimmt[1]), nachdem er zum Beobachten mit Spiegel und Scala eingerichtet[2]) und mit einem anderen Magneten in Bewegung gezetzt wurde.

Bei unserem Versuche brauchte derselbe zu 110 Schwingungen 755″,0; hieraus ergibt sich die Dauer einer Schwingung

$$T'' = 6{,}8639''$$

Diese Angabe auf unendlich kleine Schwingungsbögen[3]) reducirt, hat man

$$T = 6{,}8636''.$$

Um den Torsionscoëfficienten für diese Aufhängung zu finden,[4]) wurde mehrmals der Cylinder um je 360° gedreht und gefunden

Torsionscoëfficient $\Theta = 0{,}00239$; folglich aus der Formel[5])

$$MT = \frac{\pi^2 K}{T^2(1+\Theta)}$$

$$\log MT = 6{,}39593.$$

c. Bestimmung der Correction für die Ablesung der Entfernung der Scheiben vom Mittelpunct der Nadel.

Wie man aus Fig. 1 ersieht, liegen die Marken β, die zur Bestimmung des Abstandes der Drahtwindungen und des Ablenkungsmagnets vom Mittelpunct der Nadel dienen sollen, nicht in derselben Verticalebene mit den Drathwindungen. Man ersieht hieraus, dass für die durch β am Prisma abgelesenen Längen noch Correctionen anzubringen sind, die je nach der Stellung der Scheiben vor oder hinter den Indices β von der Axe des Instrumentes ab

1) Kohlrausch, Leitfaden der practischen Physik pag. 52. Lamont, Handbuch des Erdmagnetismus p. 63.

2) Kohlrausch, Leitfaden der practischen Physik pag. 55. Lamont, Handb. d. Mag. pag. 285.

3) Kohlrausch, Leitfaden d. pract. Physik pag. 49, 50. Theoretisches und Geschichtliches hierüber vorzüglich in Lamont's Handb. des Magnet. pag. 147 u. ff.

4) Kohlrausch, Leitfaden der pract. Physik p. 59.

5) Gauss, Intens. vis mag. terr. pag. 16; Lamont H. d. Erdmag. pag. 230. Kohlrausch, Leitf. d. p. Ph. p. 61. Mousson, Lehrb. d. Phys. II, pag. 74.

Digitized by Google

negativ oder positiv zur Ablesung hinzuzufügen sind. Von der Schärfe der Bestimmung dieser Grössen hängt vor Allem die Genauigkeit der Resultate ab. Um dies zu erreichen, kann man verschiedene Wege einschlagen.

Es wird z. B. das Prisma C vom Instrumente abgenommen, auf eine Theilmaschine parallel zur Axe der Schraube gelegt und eine der Scheiben aufgesetzt. Hierauf wird das Fernrohr eines Theodoliths oder ein Fernrohr, das genau in einer Verticalebene drehbar ist, in passender Entfernung von der Theilmaschine aufgestellt, wobei zu berücksichtigen ist, dass sich während der Messung die gegenseitige Lage von Theilmaschine und Fernrohr nicht verändern darf, und dass die Richtung der Schraube der Theilmaschine möglichst senkrecht auf der optischen Axe des Fernrohrs stehen soll, was durch das Betrachten der Scheibe S_1, deren Flächen als Gerade wie in Fig. 1 gesehen werden sollen, sich leicht untersuchen und berichtigen lässt; auch ist der Schlitten der Theilmaschine horizontal zu stellen.

Bringt man nun durch Drehen der Schraube der Theilmaschine die Marke β mit dem Fadenkreuz des Fernrohrs in Coincidenz, hierauf die Windung oder die in Fig. 1 nach der Axe des Instruments gelegene Fläche der Scheibe S_2, an welche das Ende des Magnetcylinders bei den Ablenkungsversuchen anzuliegen hat, so findet man die bezüglichen Correctionen aus der Anzahl der dabei ausgeführten Schraubendrehungen der Theilmaschine.

Das Nämliche lässt sicht leichter und genauer mit Hilfe eines guten Kathetometers bestimmen, wenn man das Prisma C vertical an einer Wand befestigt und das Fernrohr des Kathetometers auf die bezüglichen Stücke nacheinander einstellt.

Oder indem man auf den horizontal gestellten Schlitten einer Theilmaschine einen Theodolithen aufstellt, in einiger Entfernung davon parallel zur Theilmaschine das Prisma mit den Scheiben und nun unter alleiniger Benützung der Schraube der Theilmaschine und der horizontalen Fernrohraxe das Fadenkreuz im Fernrohre nach einander auf die Marke β und Windung oder Fläche einstellt; die Anzahl der Umdrehungen gibt wieder den gesuchten Abstand.

Es versteht sich von selbst, dass diese Arbeit, nachdem auf jeder Seite β eines jeden Schlittens Σ Marken sind, viermal zu geschehen hat in Bezug auf den Abstand der Stromesfläche, ausserdem noch

Digitized by Google

zweimal bei S_2 in Bezug auf den schon erwähnten Abstand der Fläche, an der der Ablenkungsmagnet anliegt, von den beiderseitigen Marken am Schlitten Σ_2, wobei aber als Summand zu diesen letztbestimmten Grössen noch die halbe Länge des Magnetcylinders hinzukömmt.

d. Aufstellung des Instrumentes.

Es versteht sich, dass man hiezu einen Platz auswählen muss, wo das Galvanometer von allen störenden Einflüssen, Erzitterungen durch Bewegungen im Gebäude etc. geschützt ist; auch sollte man es wo möglich an einem solchen Orte verwenden, an dem es ein für allemale stehen bleiben kann und man sich mit Hilfe von Miren von dem unverrückten Stande desselben überzeugen kann.

Hat man einen genügenden Platz gefunden, so wird das Instrument aufgestellt und centrirt. Dies geschieht dadurch, dass man das Instrument um seine Verticalaxe dreht und zusieht, ob der Magnetring bei ihm stets parallel zu drehendem Dämpfer in dessen Mitte hängen bleibt; sollte dies nicht stattfinden, so ist an den Stellschrauben des Dreifusses und der Centrirung der Fadensuspension nachzuhelfen. Unterstützen kann man diese Operation noch dadurch, dass man auf das Prisma eine Libelle stellt und darauf achtet, dass beim Drehen des Instrumentes um die Verticalaxe die Stellung der Blase sich nicht ändert. Ist dies erreicht, so hat man noch die Axe des Prisma C senkrecht auf den magnetischen Meridian zu stellen, was auf zweierlei Weise geschehen kann:

Entweder benützt man die in den Mitten der Scheiben angebrachten Löcher als Diopter, um auf eine Marke einzustellen[1]), die man durch Bestimmung mit Hilfe des magnetischen Theodoliths zweckentsprechend erhielt.

Oder: Man stellt das Prisma nach dem Augenmaasse senkrecht zum magnetischen Meridiane, setzt die Rollen mit mehreren Windungen auf, und sieht zu, ob die Ausschläge des Spiegels nach jeder Seite vom Ruhepuncte aus gleich ausfallen, wenn man mit Hilfe eines Commutators einen constanten Strom in den beiden Richtungen durch die

1) Diese Einrichtung kann auch benützt werden, um sich von dem unverrückten Stande des Instrumentes zu überzeugen. Sollte die Marke hiefür noch nicht vorhanden sein, so kann sie mit Hilfe dieses Diopters fixirt werden.

Digitized by Google

Spiralen schickt. Sollte dies nicht der Fall sein, so hat man die Stellung des Prisma noch zu ändern [1]).

Vor Allem handelt es sich jetzt um die Einstellung des Ablesefernrohrs und der Scala auf den Galvanometerspiegel, eine Arbeit, die ich als bekannt voraussetzen darf, wobei indessen zu bemerken ist, dass es für absolute Messungen nothwendig wird, den Abstand von Spiegel und Scala genau zu messen. Auch hiefür bietet das Instrument ein Mittel, das die Messung im Gegensatz zu anderen sehr erleichtert. Nimmt man nämlich den Dämpfer ab, so gibt die aus dem Drehungszapfen B hervorragende Spitze h eine genaue feste Marke für die Mitte des Instrumentes (hiemit auch für den Stand des Spiegels zur Scala) und es ist nun leicht, mit einem guten Maassstabe die zu suchende Entfernung abzumessen, oder auf eine Latte, die man über die Spitze legt und etwas andrückt, Marken zu geben, die sich für die Messung genannter Länge vorzüglich eignen. In unserem Falle war dieser Abstand 1307,1^{mm}.

e. Anstellung der Ablenkungsversuche zur Bestimmung der Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus.

Die Grössen, welche für diese nothwendig sind, ergeben sich aus der Formel [2])

---

1) Es ist hier auch die Stelle, noch folgende Puncte zu berühren:

Soll das Galvanometer mit einem neuen Cocoonfaden versehen werden, so bindet man an dem Faden in abgemessener Entfernung von einander zwei s-förmige Platinhäkchen an, und lässt ein Häkchen, indem man das andere in den Haken des Stäbchens γ (Fig. 1 b) eingehängt hat, in die Röhre R durch das Loch der Fadensuspension herabgleiten, bis es im Spiegelgehäuse erscheint; die Kapsel E (Fig. 1, 2) wird abgehoben, und dann das Häkchen im Oehr der Spiegelfassung eingehängt. Die richtige Höhe des Magnetringes wird durch Höher- oder Tieferstellen des Stiftes γ (Fig. 1 b) erreicht.

Ferner: Soll der Spiegel sammt Magnetring eingesetzt werden, so nimmt man zunächst den Dämpfer ab, indem man die Schrauben ii löst; dann wird die ganze Fadensuspension von der Schraube r an aus dem Ringe q (Fig. 2) und der Magnetring von dem Schildplattstäbchen n (Fig. 2) abgeschraubt und nun der Spiegel sammt dem Stäbchen n bei q eingebracht; hierauf der Magnetring an das aus der Röhre g vorstehende Ende des Stäbchens n angeschraubt und das Instrument wieder zusammengestellt.

Die Fassung des Spiegels besteht bei allen aus meiner Werkstätte hervorgehenden Spiegelinstrumenten wegen dadurch erzielter Verminderung des Trägheitsmomentes und raschen Dämpfens aus Aluminium, welche Verbesserung ich schon seit 2½ Jahren eingeführt habe.

2) Gauss, Intensit. vis mag. terr. pag. 39. Lamont, Handb. des Erdmag. pag. 232. Kohlrausch, Leitf. d. pract. Phys. pag. 61. Mousson, Lehrb. d. Phys. II, 75.

Digitized by Google

$$\frac{M}{T} = \frac{r^5 \operatorname{tg} \varphi - r_1^5 \operatorname{tg} \varphi_1}{r^2 - r_1^2} (1 + \Theta),$$

wobei r und r_1 zwei verschiedene Abstände des Mittelpuncts des Ablenkungsmagnetes von der Mitte der Magnetnadel φ und φ_1 die durch den Magneten hervorgebrachten Ablenkungswinkel Θ den Torsionscoëfffizienten des Fadens bedeuten.

Man wird sich indessen in Bezug auf einen Abstand r nicht mit einer Ablenkung begnügen, stellt deshalb unter jedesmaliger Umkehrung des Magnetstabes und den Lagen der Scheiben S_2 östlich und westlich vom magnetischen Meridiane vier zu einem r gehörige Ablenkungsversuche an und benützt zur Berechnung des Ablenkungswinkels φ die Zahl, die sich als Mittel aus den vier Ablesungen der Scala ergibt.

Für unseren Versuch ergab sich bei

$r = 313{,}75$ mm und
$r_1 = 243{,}75$ mm,

als Ablesungen an der Scala

100,8 mm und
215,8 mm

Bei dem Abstande 1307,1mm von Spiegel und Scala rechnete sich (es ist hier nicht zu vergessen, dass man $\operatorname{tg} 2\varphi$ wegen der Spiegelung abliest):

$\varphi = 2^0\ 12'\ 17{,}5''$
$\varphi_1 = 4^0\ 42'\ 0{,}5''$.

Hieraus ergab sich ($\Theta = 0{,}00239$ gefunden)

$\log \frac{M}{T} = 5{,}78112$; also, nachdem
$\log MT = 6{,}39593$ war,
$T = 2{,}02956$.

f. Anstellung einer galvanometrischen Messung.

Wie hier das Instrument einzurichten ist, geht aus früheren Ausführungen hervor. Es ist nur noch zu bemerken, wie man den Durchmesser der Kreiswindungen bestimmt. Zu diesem Zwecke sind in jede Scheibe S vier Schnitte eingesägt, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist; je zwei stehen sich diametral gegenüber und der Draht der Kreisleitung liegt an diesen Stellen eine kleine Strecke ganz frei, so dass man leicht vermittelst Kathetometer, Längentheilmaschine oder sonst irgend einem mit Microscop oder Fernrohr versehenen Apparate für genauere Längenmessung die Durchmesser der Kreisleitungen bestimmen kann. Das arithmetische Mittel der Messungen beider Scheiben dient

Digitized by Google

auch hier wieder zur Bestimmung des Halbmessers r, der in folgende Formel[1]) einzusetzen ist:

$$g = \frac{T \operatorname{tg} \varphi}{2\pi r^2} (e^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{e^2 + r^2}\right),$$

in der g die in absoluten Einheiten zu findende Stromintensität, T die absolute Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus, die man mit Hilfe des Instrumentes, als Magnetometer verwandt, schon gefunden hat, r den Halbmesser der umströmten Kreisflächen, e den Abstand dieser Flächen vom Mittelpuncte der Nadel und λ die halbe Länge der Nadel bedeuten; als λ muss man bei der Ringform der Nadel den halben mittleren Durchmesser des Ringes nehmen.

In unserem Falle war

$d_1 = 105{,}65^{mm}$
$d_2 = 104{,}95^{mm}$; hieraus also
$r = 52{,}65^{mm}$; es war ferner
$e = 30{,}00^{mm}$
$\lambda = 8{,}97^{mm}$;

der Ausschlag $= 352{,}00^{mm}$ bei $1307{,}1^{mm}$ Abstand von Scala und Fernrohr; hieraus
$\varphi = 7^0\,32'\,9{,}8''$;
$T = 2{,}^c2956$, also aus obiger Formel unter Berücksichtigung der Torsion des Fadens (Θ wieder $= 0{,}00239$.)
$g = 1{,}7329$.

Um dieses Resultat zu controliren, wurde nebenbei durch denselben Strom eine Silberelectrolyse ausgeführt und ergab sich pro min. $11{,}8^{mgr}$ Silber. g wurde dann mit Hilfe der Constanten $\alpha = 6{,}714$[2]) auf Silber umgerechnet, und erhalten $11{,}76^{mgr}$ Silber: sicher ein sehr befriedigendes Resultat.

Zum Schlusse noch die Bemerkung, dass solche Instrumente in solider und eleganter Ausführung aus meiner Werkstätte „Physik.-mech. Institut von M. Th. Edelmann in München" zu beziehen sind und sich ihr Preis sammt genauer Angabe der nöthigen Dimensionen auf 300 fl. südd. Währ. stellt.

München den 21. März 1872.

---

1) Die Theorie meines Instrumentes ist die nämliche, als die von Lamont angegebene, Lamont, Handb. des Magnet. p. 94 und Pogg. Ann. LXXXVIII, 230.

2) Kohlrausch, Leitf. d. pract. Phys. pag. 117.

Digitized by Google

Fuss zur festen Aufstellung von Instrumenten.

Von

M. Th. Edelmann,

Assistent am Polytechnicum München und Mechaniker.

(Hiezu Tafel X.)

Bei vielen kleineren Messinstrumenten ist es erwünscht, eine Art und Weise der Aufstellung zu haben, deren Einrichtung zwar die Bequemlichkeiten eines Dreifusses bietet, doch einer nicht beabsichtigten Verstellung des Instrumentes durch Anstossen und ähnliche Zufälligkeiten vorbeugt. Ich verstehe hierunter eine solche Vorrichtung, welche zwischen Standort und eigentlichem Apparate eingeschaltet ist, eine beliebige Bewegung oder Drehung gestattet, so dass man dem Apparate jede durch theoretische oder Zweckmässigkeitsgründe vorgeschriebene Lage geben kann, und, nachdem dies geschehen, eine fortdauernd gleiche Lage, z. B. gegen den Horizont, den magnetischen Meridian, ein anderes Instrument etc. sichert.

Ich erinnere hier nur an die Aufstellung erdmagnetischer Variationsinstrumente, der Galvanometer überhaupt und speciell der Apparate für absolute magnetische und galvanische Messungen, der Ableseferarröhre, endlich solcher Apparate, an denen man durch Drehung irgend welcher Axe misst, z. B. Kohlrausch's Sinuselectrometers, Lamont's Reisetheodolithen, meines Compensationsgalvanometers u. s. w., welche Instrumente während zusammengehöriger Versuchsreihen festzustehen haben, aber weder durch ihr Gewicht, noch durch andere Mittel eine bestimmte Sicherheit dafür bieten, dass sie sich bei der Ausführung dieser Drehungen nicht etwa verschieben.

Für solchen Zweck habe ich einen Fuss construirt und in meiner Werkstätte schon öfters ausführen lassen, den ich in der Folge unter Hinweis auf die Figuren 1—4 Tafel X beschreibe, und der sich leicht statt des Dreifusses oder Fussgestelles jedem Instrumente angedeuteter Art anfügen lässt, oder einen Tisch trägt, auf welchem, beweglich wie die

Digitized by Google

Platte eines Messtisches, irgend ein Instrument aufgestellt und, wenn nöthig, auch noch weiter befestigt werden kann.

Fig. 1 stellt hiebei eine Ansicht dieses Fusses vor und zugleich die Art und Weise, wie ich ihn auf einem aus starkem Zinkblech hergestellten und an einer Hauptmauer befestigten Träger angebracht habe und er z. B. im physicalischen Cabinet des Münchener Polytechnicums dazu dient, mein Galvanometer für absolute Messung zu tragen. Fig. 2 ist die Ansicht des Schnittes durch die Verticalebene AB in Fig. 3, während Fig. 3 und 4 Ansichten von Schnittebenen der Horizontalebenen CD und EF in Fig. 2 darstellen.

Hieraus ist ersichtlich, dass derselbe gleichsam aus einem nach aufwärts gebogenen Dreifusse besteht, dessen drei Lappen $G_1\,G_2\,G_3$ Schrauben $H_1\,H_2\,H_3$ aufnehmen, welche ihrerseits die Lage einer um ein Kugelgelenk K beweglichen Axe X vermittels dreier Backen $J_1\,J_2\,J_3$ sichern. Diese Backen, welche in eine Kerbe der Axe X passen, erlauben, durch die gegenseitige Verstellbarkeit der Schrauben H die Axe vertikal zu richten, ohne deren Drehung um sich selbst zu verhindern. Um diese Axe X ist ein Ring R gelegt, der durch Schraube a, welche in die Kerbe b eingreift, in seiner Höhe gehalten wird; dieser Ring kann durch die Schraube S an die Axe festgeklemmt werden, und dann ermöglichen die beiden Schrauben T, in Lappen des Ringes R sitzend und an dem Lappen G anstehend, eine Feinstellung der Drehung der Axe X oder auch eine Feststellung derselben in diesem Sinne. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, hat die Axe X an ihrem oberen Ende inneres und äusseres Gewinde zum Zwecke der Befestigung des zu Tragenden und zur Aufnahme einer Spitze Fig. 2a, welche dann aufgeschraubt wird, wenn eine Entfernungsmessung zweier Instrumente stattfinden soll. Auch das untere Ende K der Axe ist ausgebohrt und mit Schraubengängen versehen, um hier z. B. bei Galvanometern den Stab, der den Compensator, oder ein Häkchen, das einen Senkel trägt, einschrauben zu können.

München den 20. März 1872.

Digitized by Google

Ueber den Einfluss der Wärme auf die Brechung des Lichtes in festen Körpern.

Von

J. Stefan,

wirklichem Mitgliede der kais. Academie der Wissenschaften.

(Mit 2 Holzschnitten.)

(Vom Herrn Verfasser aus den Wiener Sitzungsberichten freundlichst mitgetheilt.)

Ueber den Einfluss der Wärme auf die Brechung des Lichtes in Flüssigkeiten sind von verschiedenen Beobachtern zahlreiche sorgfältige Bestimmungen ausgeführt worden, hingegen liegen von analogen auf feste Körper sich beziehenden Messungen nur wenige vor.

Die erste von den mir bekannt gewordenen Arbeiten über diesen Gegenstand ist die von Rudberg[1]). Sie enthält die Untersuchung von Kalkspath, Bergcrystall und Arragonit und ist speciell zu dem Zwecke ausgeführt worden, um die Abänderungen kennen zu lernen, welche die Doppelbrechung durch die Temperaturerhöhung erleidet. Die Messungen Rudberg's haben ergeben, dass im Bergcrystall und Arragonit mit steigender Temperatur die Brechung geringer wird und zwar für alle Strahlen unabhängig von der Polarisationsrichtung. Kalkspath jedoch zeigte in Bezug auf den ausserordentlichen Strahl das entgegengesetzte Verhalten, nämlich eine Zunahme der Brechung mit steigender Temperatur, während die Brechung des ordentlichen Strahls sich auch bei höherer Temperatur nicht merklich verschieden von der bei niederer Temperatur erwies.

Die Messungen Rudberg's beziehen sich auf die Fraunhofer'sche Linie *F*, er hat es unterlassen, die Messungen auf andere Theile des Spectrums auszudehnen, weil, wie er angibt, bei Temperaturerhöhung keine merkbare Aenderung der Dispersion eintrat.

---

1) Pogg. Ann. XXVI. 291.

Digitized by Google

Eine zweite Reihe von Bestimmungen hat Fizeau[1]) ausgeführt. Sie beziehen sich auf Kalkspath, Flussspath und mehrere Glassorten. In einer andern Abhandlung[2]) hat Fizeau auch noch den Bergcrystall untersucht. Bezüglich dieses und des Kalkspaths gelangte Fizeau zu demselben Resultate wie Rudberg, nur mit dem Unterschiede, dass er auch für den ordentlichen Strahl im Kalkspathe eine allerdings geringe Zunahme der Brechung fand. Für Flussspath fand er, dass er sich ähnlich wie Bergcrystall verhalte, also mit steigender Temperatur schwächer brechend werde. Hingegen zeigten alle von ihm untersuchten Glassorten mit steigender Temperatur eine Zunahme der Brechung des Lichtes. Dieses merkwürdige Verhalten des Glases ist übrigens schon viel früher von Neumann[3]) und von Arago[4]) beobachtet worden.

Die Bestimmungen Fizeau's, nach einer von ihm erdachten Interferenzmethode ausgeführt, beziehen sich auf das Licht der Natriumflamme.

Endlich hat noch van der Willigen die Brechungsquotienten eines stark brechenden Flintglases bei verschiedenen, jedoch nur wenig abweichenden Temperaturen bestimmt[5]), und bei steigender Temperatur eine Abnahme derselben im rothen, eine Zunahme in den übrigen Theilen des Spectrums gefunden. In zwei späteren Arbeiten[6]) hat er ähnliche Messungen über Kalkspath und Bergcrystall ausgeführt, doch weichen seine Zahlen von denen, welche Fizeau gefunden, zum Theil bedeutend ab.

Alle Beobachtungen, welche bisher über die durch Temperaturerhöhung bewirkten Veränderungen der Brechungsverhältnisse von Flüssigkeiten gemacht worden sind, lieferten das gleichsinnige Resultat, dass mit steigender Temperatur die Brechung des Lichtes in denselben geringer wird. Dieses Verhalten ist von jeher als Regel und theilweise auch als nothwendige Folge des Satzes von der Unveränderlichkeit des Brechungsvermögens betrachtet worden. Unter dem letzteren aber wird von einigen Physikern der um die Einheit verminderte

1) Ann. de chim. et de phys. (3) LXVI. 429, auch Pogg. Ann. CXIX. 87.
2) Ann. de chim. et de phys. (4) II. 143, auch Pogg. Ann. CXXIII. 515.
3) Abhandlungen der Berliner Academie für 1842.
4) Oeuvres X. 309.
5) Archives du Musée Teyler. Harlem. I. 64.
6) Arch. du Mus. Teyler. II. 173 und III. 44.

Digitized by Google

Brechungsquotient, dividirt durch die Dichte des brechenden Körpers, verstanden, von andern wird an die Stelle des Brechungsquotienten das Quadrat desselben in diese Formel genommen.

Stimmen auch die Beobachtungen mit dem Satze vom constanten Brechungsvermögen, werde dieses nach der einen oder der andern Art definirt, nicht genügend überein, so sind die Abweichungen im allgemeinen doch nur gering. Hingegen stellen sich von den bisher untersuchten festen Körpern Kalkspath und Glas diesem Satze direct entgegen.

Das Verhalten des Kalkspaths ist weniger auffallend, da die Brechungsquotienten des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles nicht Functionen der Dichte allein, sondern Functionen der nach verschiedenen Richtungen verhandenen verschiedenen linearen Anordnungen der Theilchen sind, diese Anordnungen selbst aber mit veränderter Temperatur andere werden wegen der ungleichen Ausdehnung des Kalkspaths in der Richtung der Axe und senkrecht zur selben.

Dagegen scheint zur Erklärung des abnormen Verhaltens des Glases jeder Anhaltspunct zu fehlen. In Bezug auf die Anordnung der Theilchen benimmt sich eben das Glas als ein nach allen Richtungen gleichartig gebauter Körper sowohl was die Brechung des Lichtes, als die Ausdehnung durch die Wärme anbetrifft. Liegt aber in der Anordnung der Theilchen kein Grund zu einem ausnahmsweisen Verhalten, so kann er in den Veränderungen, welche die Glasmolecüle selbst bei einer Temperaturerhöhung erfahren, gesucht werden. Man kann das Glas als ein Gemenge von ausserordentlich kleinen, nach allen möglichen Richtungen orientirten, nicht regulären Crystallen betrachten, von welchen jede einzelne oder wenigstens sehr viele in derselben Weise sich benehmen, wie der Kalkspath. Vor jeder Erklärung erscheint es mir aber wichtig, die Abhängigkeit der Veränderungen der Brechungsquotienten des Glases von der Wellenlänge zu ermitteln und noch andere einfach brechende feste Körper zu untersuchen, und ich beschränke mich in dieser Abhandlung auf die Mittheilung der von mir bis jetzt ausgeführten Messungen und ihrer Resultate.

Wie bekannt, lassen sich die Brechungsquotienten der meisten Substanzen in Bezug auf ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes mit grosser Annäherung durch die aus der Cauchy'schen Theorie der Dispersion abgeleitete Formel

Digitized by Google

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

darstellen. a und b bedeuten darin von der Natur des brechenden Mediums abhängige Constante, λ die Wellenlänge.

Die Beobachtungen über die Aenderungen der Brechungsquotienten von Flüssigkeiten lehren, dass mit steigender Temperatur die Constante a der obigen Formel abnimmt, hingegen die Constante b nahezu unverändert bleibt, da die beobachteten Aenderungen des n für verschiedene Theile des Spectrums wenig verschieden sind.

Es ist in der neueren Zeit auch bei der Definition des Brechungsvermögens die obige Formel insofern zur Anwendung gekommen, als man darunter nicht mehr die Quotienten

$$\frac{n-1}{d} \text{ oder } \frac{n^2-1}{d}$$

unter d die Dichte verstanden, begreift, sondern die analogen von der Dispersionsconstante b befreiten Grössen

$$\frac{a-1}{d} \text{ oder } \frac{a^2-1}{d}$$

da für das Stattfinden eines einfachen Zusammenhanges zwischen der Dichte und der Constanten a mehr Wahrscheinlichkeit vorhanden ist, als für das Vordandensein einer einfachen Beziehung zwischen der Dichte und dem Brechungsquotienten n.

Es drängte sich nun die Frage auf, ob nicht das Glas wenigstens in Bezug auf den von der Dispersion befreiten Theil des Brechungsquotienten das Gesetz der Abnahme desselben mit abnehmender Dichte befolge, so also, dass die Constante a der obigen Formel mit steigender Temperatur kleiner werde und die von Fizeau für das Licht der Natriumflamme, von Neumann und Arago für die mittleren Strahlen des Spectrums beobachtete Zunahme des Brechungsquotienten von einem Anwachsen der Dispersionsconstante b herrühre. Diese Frage ist eigentlich schon durch die Beobachtungen van der Willigen's bejahend beantwortet, welcher für das schwere Flintglas eine Abnahme der Brechungsquotienten im rothen, eine Zunahme in den übrigen Theilen des Spectrums gefunden. Doch habe ich von diesen Beobachtungen erst Kenntniss erhalten, nachdem diese Arbeit vollendet war, und liefern auch meine Beobachtungen ein ganz anderes Resultat.

Aus der gemachten Vorraussetzung folgt unmittelbar, dass die Aenderungen der Brechungsquotienten vom rothen gegen das violette

Digitized by Google

Ende des Spectrums hin steigen müssen. Die Beobachtungen haben auch wirklich dieses Resultat ergeben. Die durch Temperaturerhöhung bewirkte Zunahme der Brechungsquotienten steigt bei allen von mir untersuchten Prismen vom rothen gegen das violette Ende hin meist um das doppelte an. Es lassen sich auch mit ziemlicher Annäherung die beobachteten Aenderungen in Bezug auf ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge darstellen durch die Variation der Cauchy'schen Formel, so dass man, unter t die Temperatur verstanden,

$$\frac{dn}{dt} = \frac{da}{dt} + \frac{1}{\lambda^2}\frac{db}{dt}$$

setzen kann. Es ergaben sich jedoch bei Anwendung dieser Formel ebenso für $\frac{da}{dt}$ wie für $\frac{db}{dt}$ positive Zahlen. Es müsste auch, wäre $\frac{da}{dt}$ negativ, nach dieser Formel die Aenderung des n von der Fraunhofer'schen Linie B bis zur Linie H mehr als um das dreifache wachsen. Auch habe ich bei keinem Prisma ein solches Verhalten, wie es Willigen beobachtete, gefunden.

Ich habe in diese Abhandlung nur die an einem Glasprisma angestellten Messungen, gewissermaassen als ein Beispiel, aufgenommen. Weitere Bestimmungen sollen später noch mitgetheilt werden, da ich denselben noch einen höheren Grad von Genauigkeit geben zu können hoffe.

Nachdem ich mich überzeugt hatte, dass das Verhalten des Glases auch in Bezug auf den von der Dispersion befreiten Theil der Brechungsquotienten dem Satze von der constanten Grösse des Brechungsvermögens direct widerstreitet, und auch in Bezug auf die grosse Verschiedenheit, welche die Aenderungen der Brechungsquotienten in verschiedenen Theilen des Spectrums zeigen, ein ganz anderes als das Verhalten der Flüssigkeiten ist, blieb noch das Verhalten anderer fester, einfach brechender Körper kennen zu lernen übrig.

Ich nahm zuerst ein Steinsalzprisma vor und war nicht wenig erstaunt über die grosse Verschiebung, welche das Spectrum in Folge der Temperaturerhöhung erlitt. An die kleinen Aenderungen der Brechung im Glase gewöhnt, musste ich erst durch mit verschiedenen Prismen wiederholte Versuche mich überzeugen, dass diese bedeutenden mit der Temperaturerhöhung eintretenden Aenderungen nicht in einem Fehler der Beobachtungsmethode liegen. Ich untersuchte ferner

Digitized by Google

noch in derselben Richtung Sylvin (Kaliumchlorid), Alaun und Flussspath, für welch letzteren schon Fizeau eine auf das Licht der Natriumflamme sich beziehende Bestimmung geliefert hat.

Meine Messungen haben nun ergeben, dass sich diese vier Körper alle ähnlich wie die Flüssigkeiten verhalten. Sie werden mit steigender Temperatur schwächer brechend und erfolgt die Abnahme der Brechungsquotienten der Temperaturerhöhung proportional.

Die Messungen haben ferner gelehrt, dass für jeden dieser vier Körper die mit der Erhöhung der Temperatur eintretende Abnahme der Brechungsquotienten im ganzen Spectrum nahezu dieselbe ist, ähnlich wie dies auch für Flüssigkeiten gefunden wurde.

Ich will hier noch einschalten, dass sich ganz so wie die vier regulären Körper auch Bergcrystall sowohl für den ordentlichen wie ausserordentlichen Strahl benimmt. Es geht dies schon aus der Bemerkung Rudberg's, dass er keine Aenderung in der Dispersion beobachtete, hervor und ich habe mich davon auch durch eigene Messungen überzeugt, die für alle Theile des Spectrums nahezu dieselben Zahlen geliefert haben, welche Fizeau für das Licht der Natriumflamme gefunden.

Was endlich die absolute Grösse der durch Temperaturerhöhung bewirkten Aenderungen der Brechungsquotienten anbetrifft, so sind dieselben auf eine Temperaturerhöhung von 100° C. reducirt für die Linie D bei

Steinsalz	dn	=	— 0.00373
Sylvin			— 0.00345
Alaun			— 0.00134
Flussspath			— 0.00123
Glas			+ 0.00023

Nimmt man die von Rudberg für Arragonit und von Fizeau für Bergkrystall und Kalkspath gefundenen Zahlen noch hinzu, nämlich

Arragonit	dn_a	=	— 0.00097
	dn_b	=	— 0.00139
	dn_c	=	— 0.00128
Bergkrystall	dn_o	=	— 0.00054
	dn_e	=	— 0.00063
Kalkspath	dn_o	=	+ 0.00006
	dn_e	=	+ 0.00108

Digitized by Google

so stellt sich die merkwürdige Thatsache heraus, dass Steinsalz und Sylvin alle bisher untersuchten Körper in Bezug auf die Empfindlichkeit ihrer Brechungsquotienten gegen Temperaturänderungen weit überragen, so dass diese Eigenschaft derselben sogar zu thermometrischen Bestimmungen verwendet werden könnte.

Ob zwischen diesem ausgezeichneten Verhalten des Steinsalzes und des Sylvins und ihrer bekannten grossen Diathermansie eine naheliegende gesetzmässige Beziehung stattfindet, diese Frage zu beantworten ist jetzt noch nicht möglich. Es besitzen diese zwei Körper auch relativ kleine Ausdehnungscoëfficienten, sie dehnen sich durch die Wärme nur $^2/_3$ mal so stark aus als Flussspath, und sticht gegen dieses Verhältniss das der Aenderungen der Brechungsquotienten, nämlich 3 : 1, um so bedeutender ab, in demselben Grade, wie die Verschiedenheiten in der Diathermansie dieser Substanzen. Und ebenso stellt sich das Verhältniss zwischen Steinsalz, Sylvin und Bergcrystall, welche nahe gleiche cubische Ausdehnungscoëfficienten besitzen.

Es bleibt noch die Frage übrig, wie sich die festen Körper, deren Brechungsquotienten mit steigender Temperatur abnehmen, gegen den Satz vom constanten Brechungsvermögen verhalten. Nimmt man für dieses die Definition

$$\frac{a-1}{d}$$

an, unter a den von der Dispersion befreiten Theil des Brechungsquotienten, unter d die Dichte des Körpers verstanden, und bezeichnet diese Grössen für eine andere höhere Temperatur mit a' und d', so soll

$$\frac{a-1}{d} = \frac{a'-1}{d'}$$

sein, woraus

$$a - a' = (a-1)\frac{d-d'}{d}$$

oder wenn man mit α den cubischen Ausdehnungscoëfficienten und mit t die Differenz der Temperaturen, für welche die Dichten d' und d gelten, bezeichnet,

$$a - a' = (a-1)\frac{\alpha t}{1+\alpha t}$$

Es ist nun nach den von Fizeau ausgeführten Bestimmungen für $t = 100^0$ für

Digitized by Google

Steinsalz	αt	= 0.0040
Sylvin		0.0038
Flussspath		0.0062

ferner findet man aus den in dieser Abhandlung mitgetheilten Brechungsquotienten näherungsweise für

Steinsalz	a	= 1.52465
Sylvin		1.47365
Flussspath		1.42698

und aus diesen Zahlen ergeben sich für diese drei Substanzen der Reihe nach die Differenzen

$$a - a' = \begin{matrix} 0.00209 \\ 0.00179 \\ 0.00265 \end{matrix}$$

Die Brechungsquotienten des Steinsalzes und Sylvins nehmen bei erhöhter Temperatur stärker, die des Flussspathes schwächer ab, als sie nach dem Satze vom constanten Brechungsvermögen abnehmen sollen.

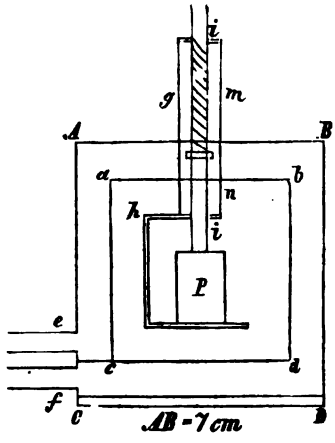
Die von mir angewandte Beobachtungsmethode ist dieselbe directe, nach welcher auch Rudberg seine Bestimmungen machte. Auf den Tisch eines Goniometers, dessen Alhidadmicroscope die Ablesung von Secunden gestatten, wurde ein Erwärmungsapparat festgeklemmt, in welchem das Prisma sich befindet. Die Deviation wurde zuerst vor der Erwärmung gemessen, dann das Prisma bei unveränderter Stellung erwärmt, so lange, bis nicht nur das Thermometer im Erwärmungsapparat einen fixen Stand einnahm, sondern auch die Deviation keine Aenderung mehr erkennen liess. Nachdem die Differenz der neuen Deviation gegen die frühere bestimmt war, wurde das Prisma wieder abgekühlt, bis das Thermometer und die Deviation wieder einen unveränderlichen Stand annahmen, und letztere neuerdings gemessen. Da die Endtemperatur immer nahe dieselbe war, als die Anfangstemperatur, so musste auch die zuerst gemessene Deviation mit der zuletzt gemessenen bis auf die möglichen Beobachtungsfehler übereinstimmen und diese Uebereinstimmung diente zugleich als Beweis, dass das Prisma während der Beobachtung seine Stellung unverändert eingehalten hat und dass auch durch die Erwärmung keine bleibende Veränderung in der untersuchten Substanz eingetreten ist.

Digitized by Google

Die zu den Versuchen verwendeten Prismen habe ich alle, das Glasprisma ausgenommen, selbst geschliffen und zwar die Prismen aus Steinsalz, Sylvin und Alaun auf einer behauchten matten Glastafel, das Flussspathprisma auf einer Stahlfeile. Die auf diese Art entstandenen matten Flächen wurden dann auf einer trockenen matten Glastafel polirt.

Als Erwärmungsapparat diente ein parallelepipedisches Gefäss aus Messingblech. Die untere und obere Wand desselben und zwei von den Seitenwänden sind doppelt, zwei der Seiten des Gefässes, die vordere und hintere sind offen und können mit Spiegelplatten mittels Federn dicht geschlossen werden. Die beiliegende Figur gibt einen zu den Spiegelplatten parallelen Schnitt des Gefässes. Die Bodenplatte *CD* ist aus sehr dickem Blech und sind an derselben zur Ebene der Zeichnung senkrecht stehende ebenso dicke Ansätze angeschraubt, welche mittelst Klemmen mit dem Tisch des Goniometers fest verbunden werden können.

Fig. 1.



In die äussere Wand sind bei *e* und *f* zwei Röhren angelöthet, zwischen den Mündungen dieser Röhren läuft eine Querwand ebenfalls aus Messing durch die eine Seite des Mantelraums. Von der Röhre *e* weg führen längere Verbindungsröhren in ein luftdicht geschlossenes Gefäss, in welchem Wasser bis zum Sieden erhitzt wird. Die Wasserdämpfe treten durch die Verbindungsröhren bei *e* in den Apparat, umströmen alle vier Seiten desselben und treten bei *f* durch die zweite der eingelötheten Röhren aus und werden durch längere Verbindungsröhren in ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäss geleitet. Durch die Röhre *f* kann zugleich das bei Beginn des Durchleitens der Dämpfe sich condensirende Wasser abfliessen und die später eintretenden Dämpfe haben keine Wasserschicht zu durchbrechen. Bei einer anderen Anordnung wäre der Apparat immer bedeutenden Stössen ausgesetzt, so z. B. wenn die Dämpfe durch das Rohr *f* eingeleitet, durch *e* fortgeführt werden, oder wenn Einfluss- und Ausflussrohr in die obere Fläche des Gefässes einmünden.

Digitized by Google

Die obere Doppelwand ist an zwei Stellen durchbrochen durch zwei kurze cylindrische Röhren. Durch die eine von diesen geht ein cylindrisches Rohr g, welches auf einem einmal rechtwinklig umgebogenen Arme h ein Tischchen trägt, das zur Aufnahme des Prisma P bestimmt ist. Dieses wird auf das Tischchen durch einen durch das Rohr hindurchgehenden Stift i mittelst einer Feder festgedrückt. Das Rohr besitzt auf der Seite zwei kleine Oeffnungen m, n, durch welche die in dem Kasten eingeschlossene Luft mit der äusseren correspondirt, so dass immer im Wärmeapparat derselbe Druck herrscht, wie aussen. Ist der Wärmeapparat fest geklemmt, so kann man mittelst dieses Rohrs das Prisma für sich drehen wie auf einem drehbaren Tisch des Goniometers und ihm so z. B. die Stellung geben, bei welcher die Deviation ein Minimum wird.

Durch die zweite der erwähnten Bohrungen durch die oberen Wände kann ein Thermometer in das Wärmegefäss eingeführt werden.

Bei den Versuchen über die Aenderungen der Brechungsverhältnisse durch kleinere Temperaturdifferenzen wurde das Wärmegefäss mit dem Prisma auf einen Ofen gestellt und auf demselben durch zwei, drei Stunden gelassen, und wenn das Thermometer eine befriedigend constante Endtemperatur anzeigte, wurde der Apparat auf das in einem ungeheizten Zimmer befindliche Goniometer gebracht und die Variation der Ablenkung bestimmt. Diese nur auf die Natriumlinie sich beziehenden Bestimmungen wurden mit einem Ocularmicrometer ausgeführt.

Ich habe mich ferner überzeugt, dass man bei grösseren, namentlich gleichseitigen Prismen die durch Temperaturerhöhungen hervorgebrachten Aenderungen der Brechungsquotienten auch bestimmen kann, wenn man erst das Prisma für sich erwärmt und dasselbe dann frei auf den Tisch des Goniometers bringt. Fällt das Licht auf die Mitte der Seitenfläche des Prisma auf, so erhält man trotz der inzwischen eingetretenen oberflächlichen Abkühlung die dem erwärmten Prisma zukommende Deviation, da in diesem Falle die abgekühlten Schichten wie planparallele Platten den inneren warmen Kern umschliessen. Hingegen gilt dies nicht mehr für den Fall, dass das Licht in der Nähe einer Kante das Prisma passirt.

Die beobachtete Differenz der Deviationen vor und nach der Erwärmung ist aber nicht durch die Aenderung des Brechungsverhältnisses des Prismas allein bedingt, sondern auch zum Theil durch die

Digitized by Google

Aenderung, welche die Richtung des Lichtstrahls beim Eintritte aus der äusseren kalten Luft in das Wärmegefäss und dann wieder beim Austritte aus diesem erfährt. Um diese Aenderung ist daher die beobachtete Deviation zu corrigiren.

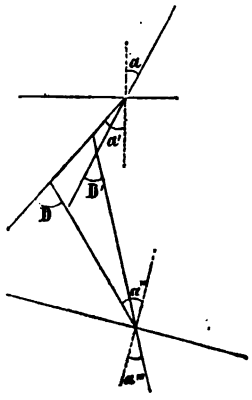
Der aus der so corrigirten Deviation berechnete Brechungsquotient gilt dann für den Uebergang des Lichtes aus der warmen Luft des Wärmeapparates in das warme Prisma. Hingegen gilt der Brechungsquotient berechnet aus der vor der Erwärmung beobachteten Deviation für den Uebergang des Lichtes aus der kalten Luft in das kalte Prisma. Um die durch die Erwärmung des Prisma allein hervorgerufene Aenderung des Brechungsquotienten zu erfahren, muss daher entweder der für das warme Prisma gefundene auf die Brechung in kalter Luft oder aber müssen beide auf die Brechung im leeren Raum reducirt werden.

Was die Ablenkung eines Strahles, welche er beim Uebertritte aus der äusseren Luft in den Wärmeapparat oder beim Austritte aus demselben erleidet, anbetrifft, so ist die Berechnung derselben nur unter einer bestimmten Voraussetzung über die Wärmevertheilung in den äusseren Luftschichten möglich. Man kann nämlich wohl annehmen, dass die Luft innerhalb des Wärmeapparates durchaus dieselbe Temperatur besitzt, welche das Thermometer anzeigt. Hingegen ist die äussere Luft in der Nähe der Spiegelplatten warm und wird erst in einiger Entfernung von diesen die Temperatur der äusseren Luft, aus welcher das Licht kommt, besitzen. Man kann nun annehmen, dass der Uebergang von der wärmeren Luft an den Spiegelplatten zu der kalten äusseren Luft in Schichten stattfinde, welche zu den Spiegelplatten parallel sind. Ebenso kann man innerhalb der Spiegelplatten selbst, die an der äusseren Fläche jedenfalls weniger warm sind als an der inneren, eine solche nach parallelen Schichten vorhandene Temperaturvertheilung annehmen. Dann aber ist die Sache so zu betrachten, als ginge der Lichtstrahl aus der kalten Luft in die warme durch eine Reihe von Zwischenmedien, welche aber alle von untereinander parallelen Ebenen begrenzt sind. Tritt jedoch ein Strahl aus einem Medium in ein zweites durch eine Reihe solcher planparallel begrenzter Zwischenmedien, so haben diese auf die Ablenkung des Strahls von seiner ursprünglichen Richtung keinen Einfluss, die Ablenkung ist dieselbe, welche der Strahl beim directen Uebertritt aus dem ersten in das zweite Medium erfährt.

Digitized by Google

Es falle ein Strahl unter dem Einfallswinkel α auf die Trennungsebene zweier Medien, und werde unter dem Winkel α' gebrochen.

Fig. 2.



Innerhalb des zweiten Mediums erfahre er eine Ablenkung D, z. B. durch ein Prisma, falle unter dem Winkel α'' auf die zweite Trennungsebene und trete unter dem Winkel α''' wieder in das erste Medium hinaus. Verlängert man den ausfahrenden Strahl nach rückwärts, so schneidet er den einfallenden unter dem Winkel D' und dieser ist dann die zur Beobachtung kommende Deviation.

Bedeutet v die Geschwindigkeit des Lichtes im äusseren, v' dieselbe Grösse im inneren Medium, so bestehen zunächst die Relationen

$$\text{(1)} \qquad \frac{\operatorname{Sin}\alpha}{\operatorname{Sin}\alpha'} = \frac{v}{v'}$$

$$\text{(2)} \qquad \frac{\operatorname{Sin}\alpha'''}{\operatorname{Sin}\alpha''} = \frac{v}{v'}$$

ferner lehrt die nebenstehende Figur, dass

$$\text{(3)} \qquad \begin{aligned} \alpha'' &= D - \alpha' + \beta \\ \alpha''' &= D' - \alpha + \beta \end{aligned}$$

wenn β den Winkel bedeutet, unter welchem die beiden Trennungsebenen der Medien gegen einander geneigt sind. Werden diese Werthe in die Formel (2) eingeführt, so folgt

$$\text{(4)} \qquad \operatorname{Sin}(D' - \alpha + \beta) = \frac{v}{v'} \operatorname{Sin}(D - \alpha' + \beta)$$

Sind v und v' wenig von einander verschieden, so gilt dies auch bezüglich α und α' und ebenso bezüglich D und D'. Setzt man nun

$$\alpha' = \alpha + d\alpha, \quad D' = D + dD$$

so sind $d\alpha$ und dD sehr kleine Winkel, deren Sinus durch die Bögen, deren Cosinus durch die Einheit ersetzt werden können. Die Gleichung (4) liefert

$$\operatorname{Sin}(D - \alpha + \beta) + \operatorname{Cos}(D - \alpha + \beta) \cdot dD$$

$$= \frac{v}{v'} \operatorname{Sin}(D - \alpha + \beta) - \frac{v}{v'} \operatorname{Cos}(D - \alpha + \beta) \cdot d\alpha$$

Digitized by Google

Zugleich folgt aus der Gleichung (1)

$$\mathrm{Sin}\,\alpha = \frac{v}{v'}\,\mathrm{Sin}\,\alpha + \frac{v}{v'}\,\mathrm{Cos}\,\alpha\,.\,d\alpha$$

und durch Elimination von $d\alpha$ erhält man

$$dD = -\left(1 - \frac{v}{v'}\right)\left[\mathrm{Tang}\,(D - \alpha + \beta) - \mathrm{Tang}\,\alpha\right] \qquad (5)$$

Sind die beiden Glasplatten des Wärme-Apparates einander parallel, so ist $\beta = 0$. Wird ferner der Apparat auf dem Goniometertisch so befestigt, dass die aus dem Collimator kommenden Strahlen senkrecht auf die erste Glasplatte auffallen, so ist auch $\alpha = 0$ und die Formel (5) zieht sich zusammen auf

$$dD = -\left(1 - \frac{v}{v'}\right)\mathrm{Tang}\,D$$

Bezeichnet man die Brechungsquotienten der kalten und warmen Luft gegen den leeren Raum mit μ und μ', nimmt die Geschwindigkeit des Lichtes im leeren Raum als Einheit, so ist

$$\mu = \frac{1}{v},\ \mu' = \frac{1}{v'},$$

und es verwandelt sich die vorhergehende Formel in

$$dD = -\left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right)\mathrm{Tang}\,D \qquad (6)$$

Der nach dieser Formel berechnete Betrag von dD ist zur beobachteten Deviation zu addiren und ist diese Summe die wahre Deviation, welche der Strahl im Wärme-Apparate durch das Prisma erfahren hat.

Da $1 - \frac{v}{v'}$ ein kleiner Bruch ist, so kann in der Formel (6) für D nicht nur D', sondern auch jene Deviation gesetzt werden, um welche der Strahl durch das Prisma vor der Erwärmung abgelenkt worden ist.

Der aus der Deviation $D' + dD$ berechnete Brechungsquotient heisse n'. Er gilt, wie schon bemerkt, für den Uebergang des Lichtes aus der warmen Luft in das warme Prisma. Ist die Geschwindigkeit des Lichtes im letzteren u', so ist

$$n' = \frac{v'}{u'}$$

Digitized by Google

Die Geschwindigkeit des Lichtes im kalten Prisma heisse u, dann sind die Brechungsquotienten N und N' des kalten und warmen Prismas für den Eintritt des Lichtes aus dem leeren Raum

$$N = \frac{1}{u},\ N' = \frac{1}{u'}$$

hingegen der Brechungsquotient des kalten Prismas für den Eintritt des Lichtes aus kalter Luft, wenn er mit n bezeichnet wird

$$n = \frac{v}{u}$$

Es ergeben sich also N und N' aus den berechneten n und n' durch die Gleichungen

$$N = \frac{n}{v} = \mu n$$

$$N' = \frac{n'}{v'} = \mu' n'$$

und die Differenz dieser zwei Werthe gibt die durch die Temperaturerhöhung hervorgerufene Aenderung des Brechungsverhältnisses, die Differenz der reciproken Werthe von N und N' die entsprechende Aenderung der Geschwindigkeit des Lichtes.

Bringt man die Differenz $N - N'$ auf die Form

$$\mu (n - n') + \mu \left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right) n'$$

so kann man bei der Berechnung derselben das von der Einheit wenig verschiedene μ durch die Einheit selbst ersetzen, da $n - n'$ und $1 - \frac{\mu'}{\mu}$ immer kleine Zahlen sind und hat genügend genau

$$N - N' = n - n' + \left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right) n' \tag{7}$$

Der in den Formeln (6) und (7) enthaltene Factor $1 - \frac{\mu'}{\mu}$ kann nach den von Ketteler gemachten Messungen folgendermaassen bestimmt werden. Für die mittleren Strahlen des Spectrums ist der Brechungsquotient μ_0 der Luft, welche bei 0^0 Temperatur unter dem Normaldrucke p_0 einer Quecksilbersäule von 760 Mm. steht,

$$\mu_0 = 1.000295$$

Digitized by Google

Bezeichnet d_0 die Dichte der Luft unter den angegebenen Verhältnissen, hingegen d die Dichte der Luft bei einer anderen Temperatur und unter einem anderen Drucke, so ist ihr Brechungsquotient μ unter diesen neuen Verhältnissen nach Ketteler bestimmt durch

$$\frac{\mu - 1}{d} = \frac{\mu_0 - 1}{d_0}$$

Es kann daher

$$1 - \frac{\mu'}{\mu} = \frac{(\mu - 1) - (\mu' - 1)}{\mu} = \frac{\mu_0 - 1}{d_0} \frac{d - d'}{\mu}$$

gesetzt werden, wenn d' die dem Brechungsquotienten μ' entsprechende Dichte der Luft bedeutet. Ist d die Dichte bei der Temperatur t, d' die Dichte bei der Temperatur t' und die Luft in beiden Fällen unter demselben Druck, so ist

$$d' = d \frac{1 + \gamma t}{1 + \gamma t'}$$

unter γ den Ausdehnungscoëfficienten der Luft verstanden. Es wird also

$$1 - \frac{\mu'}{\mu} = \frac{(\mu_0 - 1) d}{\mu d_0} \frac{\gamma (t' - t)}{1 + \gamma t'}$$

und zum Zweck der Correctionsrechnung hinreichend genau

$$1 - \frac{\mu'}{\mu} = \frac{\mu_0 - 1}{\mu_0} \cdot \frac{\gamma (t' - t)}{1 + \gamma t'} \qquad (8)$$

Die Gleichungen (6) und (7) in Verbindung mit der letzten (8) sind bei Berechnung der nun folgenden Beobachtungen benutzt worden.

I. Steinsalz.

Erstes Prisma. Winkel $= 56^\circ\ 9'\ 32''$.

Deviationen (Minimum) und Brechungsquotienten bestimmt bei der Temperatur von 17° C.

A	36°	39′	18″	1.53663
B	36	51	20	1.53918
C	36	57	32	1.54050
D	37	14	57	1.54418
E	37	37	47	1.54901
F	37	58	4	1.55324
G	38	36	35	1.56129
H	39	9	57	1.56823

Digitized by Google

Die älteren Bestimmungen der Brechungsquotienten des Steinsalzes von Baden-Powell[1]) und Grailich[2]) weichen von den vorliegenden bedeutend ab. Die von Baden-Powell berechneten sind für alle Linien grösser, für jede um nahe neun Einheiten in der vierten Decimalstelle, die von Grailich für verschiedene Prismen berechneten durchgehends kleiner, eine Reihe um 23, eine um 13, eine um 4 Einheiten in der vierten Decimalstelle.

Bei der Erwärmung des Prismas von $18^0 8$ bis $91^0 6$ wurden folgende Aenderungen der Deviationen beobachtet:

B	$-\ 12'\ 34''$
D	$12\ \ 42$
F	$12\ \ 24$

Die Genauigkeit dieser Zahlen besitzt nicht jenen Grad, welchen die goniometrische Bestimmung zulässt, weil während der Erwärmung sich immer ein Beschlag mit Wasserdampf auf der Oberfläche der Prismen bildete, welcher bei Steinsalz und ebenso bei Sylvin eine bleibende Trübung der Prismenflächen zur Folge hatte. Diese war zwar auf die Grösse der Deviation ohne Einfluss, doch erlaubte sie die Einstellung auf die einzelnen Linien nicht mit jener Sicherheit zu machen, welche bei spiegelnden Flächen möglich ist.

An diese Deviationsveränderungen ist nun die Correction wegen des Austrittes des Lichtes aus der warmen in die kalte Luft anzubringen. Sie kann für alle drei Linien $= +9''$ angenommen werden.

Ferner kann die nach Formel (7) zur Differenz $n - n'$ zu addirende Correction ebenfalls für alle drei Linien $= +0.00009$ gesetzt werden. Es ergeben sich dann folgende Werthe von $N - N'$:

	$t' - t = 72^0 8$	$t' - t = 100^0$
B	0.00272	0.00374
D	274	376
F	266	365

Mit demselben Prisma wurden auch noch einige Bestimmungen für geringere Temperaturerhöhungen gemacht, welche sich sämmtlich auf die Natriumlinie beziehen.

---

1) Undulatory theory applied to the Dispersion of Light. 1841.

2) Krystallographisch-optische Untersuchungen. 1858.

Digitized by Google

Für eine Temperaturerhöhung von 12°2 auf 34° ergab sich eine Abnahme der Deviation $-3'44''$.

Die daran anzubringende Correction beträgt $+3''6$, die Correction zum berechneten n' ist $+0.000035$, hiemit kommt für $N-N'$

$t'-t=21°8$	$t'-t=100°$
0.00081	0.00372

Zweites Prisma. Winkel $= 42°2'49''$

Deviationen und Brechungsquotienten bestimmt bei der Temperatur von 22° C.

B	24°	58′	43″	1.53902
C	25	2	35	1.54032
D	25	13	28	1.54400
E	25	27	45	1.54882
F	25	40	17	1.55304
G	26	4	17	1.56108
H	26	25	0	1.56806

Bei der Erwärmung des Prisma von 20°5 auf 93°7 wurden folgende Abnahmen der Deviationen beobachtet:

B	$-7'55''$
D	7 52
F	7 42

Die Correction dieser Abweichungen kann für alle drei Linien $= +6''$, die Correction von $n-n'$ ebenfalls für alle drei Linien $= +0.00009$ genommen werden. Es ergeben sich dann folgende Werthe für $N-N'$:

	$t'-t=73°2$	$t'-t=100°$
B	0.00274	0.00374
D	271	370
F	265	362

II. Sylvin (Kaliumchlorid).

Prismenwinkel $= 65°43'13''$.

Deviationen und Brechungsquotienten bestimmt bei der Temperatur von 20° C.

Digitized by Google

A	41°	30′	56″	1.48377
B	41	44	49	1.48597
C	41	52	6	1.48713
D	42	12	15	1.49031
E	42	39	12	1.49455
F	43	3	12	1.49830
G	43	48	58	1.50542
H	44	29	10	1.51061

Mit diesen Werthen der Brechungsquotienten stimmen die von Herrn Dir. Tschermak[1]) für die Linien *B* bis *G* gefundenen bis auf geringe, durch eine andere Beobachtungstemperatur erklärliche Differenzen überein.

Bei der Erhöhung der Temperatur von 21° auf 94° ergaben sich folgende Aenderungen der Deviationen:

B	− 15′ 45″
D	15 42
F	15 52

Die Correction dieser Differenzen kann für alle drei Linien = + 11″, die Correction an $n - n'$ ebenfalls für alle drei Linien = + 0.00008 genommen werden. Es ergeben sich dann folgende Werthe für $N - N'$:

	$t' - t = 73^0$	$t' - t = 100^0$
B	0.00255	0.00349
D	253	346
F	253	346

Eine andere, mit der Natriumflamme ausgeführte Beobachtung lieferte für die Erhöhung der Temperatur von 15° auf 42.7 die Deviationsänderung

D	− 6′ 7″

Die daran anzubringende Correction ist = + 5″ und die zu $n - n'$ zu addirende Correction = + 0.00004, es ergibt sich somit für $N - N'$:

$t' - t = 27^0 7$	$t' - t = 100^0$
0.00095	0.00343

1) Sitzungsberichte LVIII. (I.) 144.

Digitized by Google

III. Kalium-Alaun.

Prismenwinkel $= 61^0\ 32'\ 2''$.

Deviationen und Brechungsquotienten bestimmt bei der Temperatur von 21^0 C.

A	34^0	$16'$	$35''$	1.45057
B	34	27	20	1.45262
C	34	32	25	1.45359
D	34	45	12	1.45601
E	35	0	34	1.45892
F	35	13	7	1.46140
G	35	36	5	1.46563
H	35	54	46	1.46907

Die Temperaturerhöhung konnte bei dieser Substanz nicht so weit getrieben werden, als bei den übrigen, weil sie bei höheren Temperaturen Wasser abgibt und zugleich undurchsichtig wird. Mehrere Versuche mit einem Prisma, welches durch aufgekittete Glasplatten von der äusseren Luft abgeschlossen war, lieferten keine übereinstimmenden Resultate, weil während der Erwärmung eine kleine Veränderung des brechenden Winkels eintrat.

Bei einer Temperaturerhöhung von 11^0 auf 39^07 nahm die Deviation der Natriumlinie ab um

$$D \qquad -1'\ 59''$$

Die daran anzubringende Correction ist $= +4''$, die zu $n - n'$ kommende Correction $= +0.00004$ und es ergibt sich für $N - N'$

$t' - t = 28^08$	$t' - t = 100^0$
0.00040	0.00138

Ein zweiter mit einem Prisma von 65^0 ausgeführter Versuch ergab für eine Zunahme der Temperatur von 11^0 auf 33^02 in der Deviation der Natriumlinie die Aenderung

$$D \qquad -1'\ 36''$$

Die daran anzubringende Correctur ist $= +3''\ 5$, die zu $n' - n$ kommende Correction $= 0.00003$ und es ergibt sich für $N - N'$

$t' - t = 22^02$	$t' - t = 100^0$
0.00029	0.00131

Digitized by Google

IV. Flussspath.

Prismenwinkel $= 43^0\ 59'\ 1''$.

Die Deviationen und Brechungsquotienten konnten nur für fünf Linien bestimmt werden, die übrigen erschienen nicht ausgeprägt genug. Die Bestimmungen gelten für die Temperatur 21^0 C.

B	$20^0\ 52'\ 24''$	1.43200
D	20 58 12	1.43390
F	21 7 56	1.43709
G	21 16 17	1.43982
H	21 23 5	1.44204

Bei der Erhöhung der Temperatur von 21^06 auf 93^0 wurden folgende Abnahmen der Deviationen beobachtet:

D	$-2'\ 32''$
F	2 31
H	2 33

Die an diesen Differenzen anzubringende Correction kann für alle drei Linien $= +4''6$, die Correction an $n - n'$ ebenfalls für alle drei Linien $= +0.00008$ genommen werden. Es ergeben sich dann folgende Werthe für $N - N'$:

	$t' - t = 71^04$	$t' - t = 100^0$
D	0.00089	0.00124
F	88	123
H	89	124

Die von Fizeau aus den Interferenzversuchen mit Hilfe des von Kopp bestimmten Ausdehnungscoefficienten des Flussspathes (0.0000207) für die Abnahme des Brechungsquotienten bei 100^0 Temperaturerhöhung abgeleitete Zahl ist grösser als die hier gefundene, nämlich 0.00136.

V. Glas.

Prismenwinkel $= 60^0\ 4'\ 10''$.

Deviationen und Brechungsquotienten für die Fraunhofer'schen Linien bestimmt bei der Temperatur von 19^0 C.

A	$39^0\ 21'\ 36''$	1.52406
B	39 32 6	1.52604
C	39 37 24	1.52703
D	39 51 32	1.52968

Digitized by Google

E	40°	9′	43″	1.53307
F	40	25	21	1.53598
G	40	54	43	1.54142
H	41	19	55	1.54607

Bei der Erwärmung des Prismas von 18°1 auf 92°5 ergaben sich nachstehende Zuwächse der Deviationen

B	+ 1′	7″
C	1	8
D	1	14
E	1	23
F	1	29
G	1	43

Die zu diesen Differenzen hinzukommende Correction wurde für alle Linien = + 10″ 4 genommen.

Die zur Differenz $n - n'$, welche in diesem Falle immer negativ ist, zu addirende Correction ist für alle Strahlen = + 0.000092 und es ergaben sich folgende Werthe für $N - N'$:

	$t' - t = 74°4$	$t' - t = 100°$
B	− 0.000150	− 0.000202
C	153	206
D	171	230
E	198	266
F	216	290
G	257	345

Für die Wellenlängen der Fraunhofer'schen Linien und ihre reciproken Quadrate nehme ich folgende Werthe an:

	λ	$\frac{1}{\lambda^2}$
B	0.0006883	2111
C	6571	2316
D	5902	2871
E	5278	3590
F	4869	4218
G	4317	5366
H	3974	6332

Digitized by Google

Die Zahlen λ bedeuten Millimeter, bei den Zahlen $\frac{1}{\lambda^2}$ ist der Factor 10^4 weggelassen.

Nimmt man die Formel

$$105 + \frac{4}{90}\frac{1}{\lambda^2}$$

und berechnet dieselben für die einzelnen Linien von B bis G, so gibt sie folgende Werthe

199, 208, 233, 265, 292, 343,

welche mit grosser Annäherung die für die Temperaturerhöhung von 100^0 berechneten Zunahmen des Brechungsquotienten darstellen.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Ein submariner Stromweiser für geringe Tiefen.

Von A. Mühry.

(Hiezu Tafel XI Figur 3.)

(Aus den Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins in Bremen.)

Die Tiefe, bis in welche die das Wasser fortbewegende Wirkung der Winde unter die Oberfläche des Meeres reicht, ist auf empirische Weise, durch directe Messungen, noch gar nicht bestimmt worden. In der That, so sonderbar es klingt, wir müssen den Satz voranstellen, die Mächtigkeit der Windströmungen oder Triften ist noch niemals gemessen worden, und daher kann auch Sicheres darüber noch gar nicht angegeben werden. Der bündigste Beweis für das eben Gesagte ist in der Thatsache enthalten, dass die Windströmungen überhaupt noch nicht allgemein als verschieden von den Massenströmungen, das sind die fundamentalen, constanten, der allgemeinen oceanischen Circulation angehörenden Meereszüge, gedacht und davon gesondert werden. Und doch sind jene nur sehr äusserliche Vorgänge, beschränkt auf eine sehr dünne oberste Schicht der eigentlichen umlaufenden Gewässer des Oceans, und ist es wichtig genug, zu bestimmen, wie tief die fortschiebende Wirkung der Winde sich erstrecke, sowohl für die allgemeine Theorie wie auch direct für die practische Seefahrt, um in vorkommenden Fällen zu erkennen, in welcher Art von Strömung ein Schiff sich befinde.

Sicherlich würden schon Untersuchungen über unsere Frage angestellt sein, wenn man gewusst hätte, dass die Wirkung der Winde überhaupt nur bis in sehr geringe Tiefe die Gewässer fortbewegt, so dass manchmal ein Schiff von beträchtlichem Tiefgange mit dem Kiele

Digitized by Google

schon in einer ganz verschiedenen Strömung sich befinden kann als mit dem Obertheile, und wenn nicht in geradem Gegensatze davon ziemlich allgemein die Vorstellung bestände, es sei möglich, dass sogar Meeresströmungen, deren Mächtigkeit als mehre tausend Fuss betragend erwiesen ist, nur die Winde zur Ursache hätten. Dann würde man auch schon einfache Mittel erdacht haben, um die so geringe Tiefe der Windströme zu messen, um so eher da solche Mittel für weit grössere Tiefen bereits vorhanden und angewendet sind, wie auch andere zur Messung der Höhen der Wellen, welche doch die gleichzeitige Wirkung der Winde ist, und zu dem erfolgenden Forttreiben der Wassermassen im Verhältniss steht.

Nach längerem Suchen hat der Verfasser dieser Zeilen in der Literatur einige Angaben über die Mächtigkeit der Windströmung gefunden, aber freilich nur aus der Theorie abgeleitete, keine durch empirische Belege unterstützte. In Alex. G. Findlay's wohl bekanntem Directory for the navigation of the pacific ocean 1851, vol. II, p. 1222 und 1238, wird gesagt: „Die mannichfache Wirkung der Winde auf die Oberfläche des Oceans ist gewiss sehr bedeutend; aber die Fortbewegung, welche durch die Wellen der Oberfläche verursacht wird, erstreckt sich nicht in grosse Tiefen; in den gewöhnlichen Fällen tiefstens bis 3, 4 oder 5 Faden (also 18, 24 oder 30 Fuss); jedoch bei gehäuften Impulsen in einer Richtung mag eine grössere Wassermasse fortbewegt werden, lagernd über einer anderen Masse, welche entweder in Ruhe sich befindet, oder in einer verschiedenen Richtung fliesst."

Eine sogar noch geringer ausfallende Maass-Bestimmung ist über die Mächtigkeit der Windströmungen in neuester Zeit von zwei anerkannten Physikern abgegeben, von Sir William Thomson, welchem Stokes beistimmte; die Worte des ersteren lauten (s. den Bericht über die diesjährige Versammlung der British Association f. the adv. of Science in Edinburg, im Athenaeum 1871. Aug. 12, p. 208): „Die Wirkung des Windes kann keine Strömung des Meeres veranlassen, welche tiefer reicht als wenige Fuss unter die Oberfläche. Wenn die Geschwindigkeit der durch den Wind bewirkten Strömung auf der äusseren Fläche $1/2$ Knoten beträgt, so wird sie schon in der nächsten nur um wenige Fuss tieferen Schicht weit geringer, und in der nur um 10—20 Fuss tieferen Schicht unmerklich geworden sein. Bei einem Sturme mag die Geschwindigkeit auf der äusseren Fläche 2

Digitized by Google

oder 3 Knoten werden, aber selbst dann wird die Strömung nach unten hin im äussersten Falle nur 10 oder 20 Fuss unter die Oberfläche sich erstrecken." — Gewiss ist dieser Ausspruch von Gewicht, aber gross darf die Verwunderung sein, dass in der sich daran knüpfenden Verhandlung über die Frage noch gar keine directe Messungen als Belege dafür oder dagegen angeführt und angerufen werden konnten. Daraus können wir uns für berechtigt halten, mit Sicherheit zu folgern, dass diese überhaupt noch gar nicht vorhanden sind. Es ist hier nicht die Absicht, den eben angeführten theoretischen Maass-Bestimmungen zu widersprechen; im Gegentheil eben möchten wir ihnen beistimmen; die geringe Tiefe der Windströmungen oder Triften ist auch unsere Vorstellung; aber sicherlich müssen für die endgültige Entscheidung der Frage noch die empirischen Belege mittelst directer Messungen gefordert und abgewartet werden. [1])

Da nun erklärlicher Weise die dazu nöthigen einfachen messenden Instrumente noch nicht vorhanden sind, so mag gewagt werden, hier die Andeutung zu einem „submarinen Stromweiser für geringe Tiefen" der Beurtheilung und auch der Verbesserung vorzulegen.

Wir bedürfen zu unserem Zwecke voraussichtlich nur einer Vorrichtung, welche anzeigt auf der Oberfläche des Meers, dass in geringer Tiefe, deren äusserste Grenze wir zu 60 Fuss ansetzen wollen, eine in der obersten Schicht bestehende Strömung aufhört, oder auch dass dort eine andere von verschiedener Richtung ihren Lauf hat. Dazu verwenden wir eine Stromfahne, von ziemlich gleicher Gestalt wie die der Windfahnen, wie sie sich auch findet bei einem sinnreichen anderen schon früher, von Aimé vorgeschlagenen und von C. Irminger benutzten und für bewährt erkannten Apparate, bestimmt, in sehr grossen Tiefen die Richtung eines Stromes genau aufzunehmen. Dessen Beschreibung findet mah in den Annales de Chimie et de Physique 1845, Tom. XIII, p. 460, und die Anwendung desselben von C. Irminger, im atlantischen Meere bis in 2900 Fuss Tiefe in der Zeitschr.

1) Der Verf. dieser Zeilen hat Veranlassung gehabt, der „Mächtigkeit der Meeresströme" eine besondere Untersuchung zu widmen, bei Gelegenheit als es sich darum handelte, zu entscheiden, ob der s. g. Cap Horn-Strom an der Südspitze von Amerika nur eine Windtrift sei; dabei haben zufällig die Eisberge wenigstens zu einer rohen Messung benutzt werden können, und die Frage bejahet, aus der Superficialität jener Strömung, die danach zu etwa 25 bis 30 Fuss tief sich berechnet. (Näheres findet man in Petermann's Geogr. Mittheil. 1872, Apr.)

Digitized by Google

für Allgem. Erdkunde 1854, p. 169. Bei diesem Aimé'schen Apparate, welchen man „Tiefstrom-Weiser" nennen könnte, ist an einer sehr langen Leine eine Stromfahne befestigt, mit dem nöthigen Senkblei versehen; über der Fahne befindet sich in fester Verbindung damit eine metallene Trommel, mit Wasser gefüllt, in dieser ein Compass, welcher festgestellt werden kann mittels eines mit 32 Zacken versehenen Kranzes, und dieser Kranz kann darauf hinuntergelassen werden mittelst eines die Leine entlang abwärts gleitenden schweren Ringes. Nach dem Heraufziehen des Apparats zeigt der Winkel, welchen die Fahne bildet, die Richtung der Strömung, welche in der Tiefe bestand.

Unser Instrument, ein submariner Stromweiser für geringe Tiefen, kann einfacher sein; es hat nur den Zweck, eine oberflächliche Strömung als solche aus deren geringer Mächtigkeit zu erkennen dadurch, dass in gewisser Tiefe eine verschiedene Strömung erwiesen wird, es muss also die untere Grenze eines Oberstroms als überschritten angeben. Es würde demnach eine ähnliche Stromfahne haben wie das Aimé'sche, auch mit dem nöthigen Senkblei, aber befestigt nicht an einer Leine, sondern an eine Art von Messkette, bestehend aus Gliedern von je $^1/_2$ Meter Länge, an Zahl etwa 40, verfertigt aus Draht, Blech oder Holz, und in einander gelenkt; oben auf der Oberfläche des Meeres würde, damit verbunden, eine metallene Hohlkugel schwimmen, versehen mit einem horinzontalen Pfeile, als äusserem Weiser, welcher die gleiche Richtung wie unten die Stromfahne annehmen und anzeigen würde. Beim Einsenken würde sich ersehen lassen, ob und wann, d. i. in welcher Tiefe, die Richtung des Oberstroms etwa eine andere geworden ist, was beweisen würde, und dies will man zunächst nur wissen, dass die oberste Schicht eine besondere Richtung der Fortbewegung besitzt, verschieden von einer fundamentalen Schicht (welche freilich auch in Ruhe sich befinden könnte, was durch Umdrehen des Instruments sich ermitteln lassen würde). Darin, nämlich in der Superficialität, ist dann, neben den übrigen characteristischen Eigenschaften der Windströmungen oder Triften, das vornehmste Kennzeichen derselben enthalten.

Die Zeichnung wird unsere angedeutete Idee, denn mehr ist sie fürerst noch nicht, veranschaulichen. Sie macht weniger Anspruch auf Erfindung als auf Nützlichkeit. Sie ist hier mitgetheilt auch in Hinblick darauf, dass bekanntlich die oceanische Hydrographie zur Zeit

Digitized by Google

sich anschickt und ferner sich vorbereitet, planmässig neue Beobachtungen, welche auch die Tiefen berücksichtigen würden, aufzunehmen, wie von den Vereinigten Staaten Nord-Amerika's und England her berichtet worden ist.

Göttingen, im Januar 1872.

Einfacher Thermoregulator.

Von Prof. E. Reichert in Freiburg (Baden).

(Vom Herrn Verfasser aus Poggendorff's Annalen freundlichst eingesandt.)

(Hiezu Tafel XI, Figur 4 u. 5.)

Das Princip dieses Regulators besteht darin, dass das sich in Folge der Erwärmung ausdehnende Quecksilber die Zuflussöffnung des zur Heizung dienenden Leuchtgases regulirt, resp. verschliesst. Figur 4, Taf. XI stellt den Apparat in 1/2 der natürlichen Grösse vor; *C* ist das mit Quecksilber gefüllte Gefäss, dessen Thermometerröhre nach oben sich zu einem Cylinder erweitert. In diesem Cylinder ist das Gaszuflussrohr *A* eingeschmolzen und reicht bis an die Stelle, an der die Erweiterung der Thermometerröhre beginnt; dasselbe hat bei *a* eine äusserst feine Oeffnung. Durch die Röhre *B*, welche an den Cylinder angesetzt ist, strömt das Gas nach dem Brenner ab. Fig. 6, Taf. XI zeigt die Zusammenstellung des Apparates zur Erwärmung einer Flüssigkeit in einer Kochflasche auf constante Temperatur.

Die Wirkung des Regulators ist leicht ersichtlich. So lange das Quecksilber sich noch in der Thermometerröhre befindet, strömt das Gas ungehindert nach dem Brenner ab und die Erwärmung nimmt zu; dadurch steigt das Quecksilber allmälig in die Erweiterung, beginnt dort das Gas abzusperren und gelangt erst zur Ruhe, wenn die Wärme, welche durch das verbrennende Gas dem zu erwärmenden Gefässe zugeführt wird, gleich ist der von letzterem an die Umgebung abgegebenen Wärmemenge. Damit bei zu raschem Erhitzen und darauf erfolgender vollständiger Verschliessung die Gasflamme nicht erlösche, ist bei *a* die feine Oeffnung angebracht, durch welche das Erhaltungsflämmchen gespeist wird. — Um auf bestimmte constante Temperatur bequem einzustellen, ist an der Thermometerröhre seitlich eine weitere mit Quecksilber gefüllte, am anderen Ende mit einer leicht beweg-

Digitized by Google

lichen Schraube *S* verschlossene Glasröhe angesetzt. Wird die Schraube herausgeschraubt, so sinkt das Quecksilber in der Thermometerröhre und die Temperatur, auf welche das zu erhitzende Gefäss erwärmt wird, fällt höher aus, im entgegengesetzten Falle niedriger.

Am bequemsten regulirt man in der Art, dass, wenn die constante Temperatur bis auf etwa 2° erreicht ist, man dieselbe sehr langsam ansteigen lässt, und wenn dieselbe eingetreten, mit der Schraube das Quecksilber so weit hinaufdrückt, dass die Flamme eben anfängt kleiner zu werden.

Mit derartigen Regulatoren habe ich beliebige Wasser- und Luftmassen Tage lang auf einer Temperatur erhalten, die auf $\pm$ 0°,1 C. constant sich erhielt und zwar auf allen Temperaturen, welche von 1° an über der höchsten Temperatur des Zimmers lagen. Beizufügen ist jedoch noch, dass wenn man auf sehr genaue Temperatureinhaltung reflectirt, man grössere thermometrische Gefässe anwenden muss und in Folge dessen die Temperatur nur sehr langsam steigen darf[1]); soll jedoch die Temperatur nur auf 1° bis 2° constant sein, so genügen die Gefässe von der Grösse gewöhnlicher Thermometerkugeln oder -Cylinder.

Sollen ganz niedere Temperaturen eingehalten werden, so ist die Oeffnung *a* sehr fein zu machen und statt eines Bunsen'schen Brenners ist ein solcher mit feiner Mündung, etwa eine Löthrohrspitze zu verwenden. Ausserdem legt man in diesem Falle, um die Wärmewirkung zu mässigen, unmittelbar über das Flämmchen ein Drahtnetz und bringt den zu erwärmenden Körper in einem Abstande von 1—3 Decim. darüber an. Für Temperaturen unterhalb der umgebenden Luft lässt sich mit gleichzeitiger Benutzung des Regulators sehr zweckmässig eine Kühlung mit kaltem Wasser vornehmen. Ich habe in einem Zimmer, dessen Temperatur 15° betrug, mit Kühlwasser von 10° den Inhalt der Flasche beliebig lang auf 12° erhalten.

Endlich bemerke ich noch, dass Herr C. Kramer, Glasbläser hier, dessen Arbeiten überhaupt mit grosser Geschicklichkeit und Genauigkeit ausgeführt werden, diese Regulatoren allen Anforderungen gemäss zum Preise von 2 Thlr. herstellt.

---

1) Für diesen Fall habe ich eigenthümlich construirte Thermometer mit Petroleum oder Weingeist angewendet.

Digitized by Google

Ueber den Einfluss der Electricität der Sonne auf den Barometerstand.

Von Director Hornstein in Prag.

(Wien. Acad. Anzeiger 1872 Nr. XIII.)

Schon vor nahe 30 Jahren hat Lamont zur Erklärung der täglichen Variationen des Erdmagnetismus, später auch zur Erklärung eines Theiles der täglichen Oscillationen des Barometerstandes (des sogenannten Ebbe- und Fluthgliedes) die Hypothese aufgestellt, dass diese beiden Arten von Erscheinungen eine Wirkung der Electricität der Sonne sein könnten. Prof. Hornstein zeigt nun in der vorliegenden Arbeit, dass sowohl die täglichen, als die jährlichen Schwankungen des Barometerstandes eine innige Beziehung zu den Polarlichtern und den Sonnenflecken haben und liefert hierdurch einen Beweis für die Richtigkeit der erwähnten Ansicht Lamont's. Die Abhandlung theilt sich in drei Abschnitte. Der erste Abschnitt ist der genauen Ermittlung der längeren Periode der Polarlichter und Sonnenflecken gewidmet, deren Dauer sich aus dem Zusammenfassen beider Erscheinungen gleich 69.73 Jahre ergibt. Im zweiten Abschnitte werden, mit Zugrundelegung der bereits einen Zeitraum von nahe dreissig Jahren umfassenden stündlichen Barometer-Beobachtungen in Prag und München, die täglichen Schwankungen des Luftdruckes untersucht, und Prof. Hornstein gelangt schliesslich zu dem Satze: Die aus den stündlichen Barometer-Beobachtungen seit 1841 von Jahr zu Jahr sich ergebenden Werthe des Coëfficienten k des atmospärischen Ebbe- und Fluthgliedes für Prag und München werden sehr befriedigend dargestellt durch die Voraussetzung, dass k die längere (70jährige) Periode mit den Polarlichtern und Sonnenflecken gemein hat, und gleichzeitig mit diesen Erscheinungen sein Maximum oder Minimum erreicht. Im dritten Abschnitte wird nachgewiesen, dass auch die jährliche Schwankung des Luftdruckes mit dem Verlaufe der Polarlichter im innigen Zusammenhange steht, so dass sich der Satz aussprechen lässt: Die aus den Beobachtungen seit 1763 erhaltenen Werthe der jährlichen Schwankung des Barometerstandes in Prag, Mailand, Wien und München werden sehr befriedigend dargestellt durch die Voraussetzung,

Digitized by Google

dass die jährliche Schwankung des Luftdruckes die längere (70jährige) Periode mit den Polarlichtern und Sonnenflecken gemein hat und gleichzeitig mit diesen Erscheinungen ihr Maximum oder Minimum erreicht.

Ueber die dynamische Theorie der Diffusion der Gase.

Von Prof. Stefan in Wien.

(Wiener Acad. Anzeiger 1872 Nr. XI.)

Die Geschwindigkeit, mit der sich verschiedenartige Gase mischen, ist durch den Diffusionscoëfficienten bestimmt, welcher für jede Gascombination eine eigene von der Natur der in einander diffundirenden Gase abhängige Constante ist.

In der vorgelegten Abhandlung wird gezeigt, dass sich die Diffusionscoëfficienten aus den Coëfficienten der inneren Reibung der einfachen Gase vorausberechnen lassen unter der Annahme, die Gasmolecüle verhalten sich in Bezug auf ihre Wechselwirkung gegen einander so, wie elastische Kugeln.

Die berechneten Werthe stehen in genügender Uebereinstimmung mit den experimentell gefundenen, es ist damit ein neuer Beweis für die Brauchbarkeit der Hypothese der elastischen Kugeln gewonnen. Sie wird dahin gedeutet, dass die Atome der Molecüle von einer gemeinsamen Sphäre verdichteten Aethers umschlossen sind, welche mit den Atomen zusammen als das Molecül zu betrachten ist.

Die aus dieser Vorstellung gezogene Folgerung, dass Gase, in denen der mittlere Weg eines Molecüls von einem bis zum nächsten Zusammenstosse kleiner ist, das Licht stärker brechen müssen, findet in den vorhandenen Daten ihre Bestätigung.

Ueber gewisse Beschädigungen der Thermometer durch den Transport.

(Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie 1872 Nr. 10.)

Auf dem Transporte, insbesondere wenn die Kisten, wie es häufig geschieht, gestürzt werden, kommt es oft vor, dass ein Teil des Quecksilbers sich abtrennt und gegen das obere Ende der Thermometerröhre

Digitized by Google

fliesst. Meistens ist es leicht, diese abgetrennte Quecksilbersäule mit dem Quecksilber im Gefässe wieder zu vereinigen, indem man das Thermometer in verticaler Lage auf einen Carton, den man frei in der linken Hand hält, etwa 2—3 Zoll hoch herabfallen lässt, oder indem man das Thermometer mit der rechten Hand fasst und mit dem Arm (aber nicht mit dem Thermometer) gegen die Fläche der linken Hand schlägt, oder endlich (was jedoch einige Vorsicht erfordert) indem man das Thermometer an einer Schnur befestigt und wie eine Schleuder (jedoch nicht zu rasch) im Kreise herumdreht.

In manchen Fällen ist die abgetrennte Partie Quecksilber so gering[1]), dass ihr Gewicht nicht hinreicht, um die Adhäsion an der Wand der Glasröhe zu überwinden. Es dürfte manchen Beobachtern nicht unlieb sein, ein Verfahren kennen zu lernen, welches auch in solchen Fällen zum Ziele führt.

Man neigt das Thermometer-Rohr unter einem Winkel von 20 bis 40°, so dass die Kugel höher steht als die Röhre und ertheilt hierauf der Kugel mit einem flachen Holzstück (z. B. Lineal) einen Schlag in der Richtung der Thermometer-Röhre. Das Quecksilber in dem Gefässe wird sich nach vorwärts bewegen und ein Theil desselben die ganze Röhre ausfüllen und sich mit dem abgetrennten Quecksilber vereinigen. Wenn man nun das Thermometer langsam und vorsichtig in eine solche Lage bringt, dass die Kugel etwas tiefer steht als die Röhre, aber so wenig neigt, dass das Quecksilber eben erst gegen die Kugel zu fliessen beginnt, so wird in der Regel die gesammte Quecksilber-Masse ungetrennt sich gegen das Gefäss bewegen. An der Stelle, wo die Trennung früher stattgefunden hat, wird sich meistens, da die Thermometer sehr selten völlig luftleer sind, eine kleine Luftblase befinden. Diese Luftblase bleibt, wenn man in der erwähnten Weise vorsichtig neigt und jede Erschütterung vermeidet, an der Wand der Röhre haften und das früher abgetrennte Quecksilber geht nunmehr an der Stelle mit der Luftblase vorbei.

1) In einzelnen Fällen blos 1 Grad oder sogar nur ein halber Grad, so dass man auf die Vermuthung kommen könnte, der Nullpunct sei irrig bestimmt worden.

Digitized by Google

Acustische Versuche zum Erweise, dass die Wellenlänge eines sich fortbewegenden schwingenden Körpers verschieden ist von derjenigen, welche derselbe fibrirende Körper ohne Ortsveränderung hervorbringt.

Von Alfred M. Mayer,

Ph. Dr., Professor der Physik am Stevens-Institut der Technologie zu Hoboken, New-Jersey, Vereinigte Staaten.

(Poggendorff's Annalen 1872 Nr. 5.)

Der Apparat.

Ich verschaffte mir vier mit Resonanzkästchen versehene Stimmgabeln, welche den Ton $ut_3 = 256$ Schwingungen die Secunde anschlugen, und bezeichnete dieselben als Nr. 1, 2, 3 und 4. Nr. 1 und 2 wurden mittelst eines später zu beschreibenden Verfahrens vollkommen *unisono* gemacht.

Nr. 1 wurde dann vor eine Laterna magica gestellt und zwar so, dass eine kleine mittelst eines seidenen Fadens aufgehängte Korkkugel (6^{mm} Durchmesser) eine Zinke der Stimmgabel kaum berührte, Das Bild der Stimmgabel und des Kügelchens wurde sodann auf einen Schirm geworfen.

Die eine Zinke von Nr. 3 wurde so lange mit Wachs beladen, bis die Gabel zwei Stösse in der Secunde mit Nr. 1 und Nr. 2 gab.

Die Zinken von Nr. 4 wurden so lange abgefeilt, bis diese Gabel ebenfalls zwei Stösse mit 1 oder 2 gab. Nr. 4 gab also zwei Schwingungen in der Secunde mehr als Nr. 1, während Nr. 3 deren zwei weniger in der Secunde gab als Nr. 1.

Die Versuche.

In den Experimenten 1 bis 7 incl. blieb Stimmgabel Nr. 1 mit dem Korkkügelchen, welches die eine Zinke leise berührte, vor der Laterne.

Exp. 1. Gabel Nr. 2 festgeschraubt auf ihrem Kästchen wurde in einer Entfernung von 30—60 Fuss von Nr. 1 in der Hand gehalten und zum Tönen gebracht; die Kugel wurde von Gabel Nr. 1, welche mit 2 *unisono* vibrirt, abgestossen.

Exp. 2. Ich stellte mich 30 Fuss von Nr. 1 ab und hielt die eingeschraubte Gabel Nr. 2 in der einen und ihr Kästchen in der anderen Hand. Dann ging ich schnell auf Gabel Nr. 1 zu; sobald ich

Digitized by Google

in gleichförmiger Bewegung war, setzte ich die Gabel auf ihr Kästchen und nahm sie wieder weg gerade bevor ich stehen blieb. Obgleich ich dabei nur noch einen Fuss von Nr. 1 entfernt war, blieb die Korkkugel vollständig ruhig.

Exp. 3. Diesmal ging ich wieder auf Nr. 1 zu, wie in Exp. 2, nahm jedoch die Gabel nicht wieder von ihrem Kästchen weg, nachdem ich sie einmal darauf gesetzt hatte. Die Kugel blieb vollkommen ruhig bis ich stehen blieb; in demselben Augenblicke aber sprang sie von der Gabel ab. Ein Gehülfe, der das Ohr nahe an das Resonanzkästchen hielt, während er mit dem Auge den Schirm beobachten konnte, berichtete, dass in dem Augenblicke, wo ich stehen blieb, die Gabel Nr. 1 tönte und die Kugel zu gleicher Zeit abgeworfen wurde.

Exp. 4 und 5. Diese Experimente gleichen Exp. 2 und 3 mit der Ausnahme, dass ich in denselben mich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Gabel Nr. 1 weg, bewegte.

Exp. 6. Gabel Nr. 3, welche 254 Schwingungen in der Secunde machte, wurde wie in Exp. 1 angeschlagen und blieb ohne Wirkung auf die Kugel. Nun schraubte ich die Gabel von dem Kästchen ab und stellte mich etwa 30 Fuss von Nr. 1 hin. Ich schwang dann das Kästchen mit dem Arm gegen Nr. 1 und setzte die Gabel darauf, während es sich Nr. 1 näherte. Sobald die gehörige Geschwindigkeit (von 8—9 Fuss pro Secunde) erreicht war, wurde die Kugel plötzlich von Gabel Nr. 1 abgestossen. Wenn man die obige Geschwindigkeit sehr viel steigert oder verringert, so bleiben die Vibrationen von Nr. 3 ohne Wirkung auf Nr. 1.

Exp. 7. Gabel Nr. 4, welche 2 Schwingungen pro Secunde mehr macht als Nr. 1, wurde an Stelle der im letzten Versuche gebrauchten Gabel Nr. 3 gesetzt, mit dem Unterschiede, dass dieselbe auf das hin- und herschwingende Kästchen gesetzt wurde, während dieses sich von Nr. 1 entfernte. Die Wirkung war dieselbe wie in Exp. 6.

Exp. 8. Ich stellte Gabel Nr. 3 vor die Laterne und schwang Nr. 1 wie in Exp. 7 und mit gleicher Wirkung.

Exp. 9. Ich stellte Gabel Nr. 4 vor die Laterne und schwang Nr. 1 wie in Exp. 6 und ebenfalls mit gleicher Wirkung.

Durch diese einfachen Mittel kann man die Veränderung der Wellenlänge nachweisen, welche der vibrirende Körper erleidet, wenn

Digitized by Google

er in Bewegung gesetzt wird. Auf analoge Weise kann man das ausgezeichnete moderne Verfahren entwickeln, mittelst dessen man die Bewegungen der Himmelskörper nach den Veränderungen in der Brechbarkeit ihrer Strahlen berechnet. Ich halte es daher für angemessen, auf die genauen Bedingungen aufmerksam zu machen, unter denen diese Versuche anzustellen sind, welche auf eine so befriedigende Weise die bei der Spectralbeobachtung entstehenden Probleme erklären und einen experimentellen Beweis für den in 1841 von Doppler aufgestellten Satz liefern.

Die Gabeln Nr. 1 und Nr. 2 müssen genau im Einklang sein. Zwei zusammen angeschlagene Stimmgabeln geben zuweilen keine wahrnehmbaren Stösse, oder sie erzwingen gegenseitig eine gemeinsame gleichmässige Oscillation und machen daher beide dieselbe Anzahl Schwingungen; obgleich sie einzeln angeschlagen, verschieden vibriren. Mein Verfahren ist folgendes. Man isolirt drei Stimmgabeln, welche angeblich eine gleiche Anzahl Schwingungen in einer gegebenen Zeit machen, indem man sie auf zusammengerollte Gummischläuche stellt. Nun wird eine derselben so lange mit Wachs beladen, bis sie 2 oder 3 Stösse pro Secunde mit einer der anderen beiden macht, die mit ihr in Einklang zu bringen ist. Der Zeitraum, welchen 20—30 von diesen Stössen einnehmen, wird genau mittelst eines Chronographs (Casella's Registriruhr ist sehr zweckmässig), gemessen. Der Zeitraum, welcher von derselben Anzahl Stösse mit der zweiten Gabel eingenommen wird, kann dann auf dieselbe Weise ermittelt werden; und wenn derselbe nicht mit dem ersteren übereinstimmt, beladet man die schneller vibrirende Gabel so lange mit Wachs, bis sie ebenso viel Stösse wie die langsamere macht. Nachdem ich die beiden Gabeln auf diese Weise sorgfältig in Einklang gebracht, konnte ich ohne Schwierigkeit die Kugel in Exp. 1 in einer Entfernung von 60 Fuss zum Abspringen bringen. Ich glaube, dass die Wirkung selbst bei 100 Fuss Abstand dieselbe geblieben wäre. Die Korkkugel muss vollkommen rund sein und die Gabel gerade nur berühren, wenn sie sich auch noch soviel um den Faden dreht. Der letztere besteht am Besten aus einer oder zwei Fibern ungesponnener Seide. Der Kork wird so glatt wie möglich gemacht und dann mit Firniss überzogen. Dies gibt der Kugel grössere Festigkeit ohne ihr Gewicht merklich zu erhöhen und bedeckt die Unebenheiten der Oberfläche, deren Wirkung sonst mit derjenigen der sogenannten Buffer zu vergleichen wäre. Wenn die obigen Be-

Digitized by Google

dingungen eingehalten werden, wird kein Physiker bei der Wiederholung dieser Versuche auf Schwierigkeiten stossen.

Ich behalte mir vor, eine quantitative Untersuchung dieser Erscheinungen mit Hülfe einer Maschine anzustellen, wodurch die Gabel in gleichförmige Bewegung gesetzt werden kann.

Statt der Korkkugel kann man auch einen leichten flachen Spiegel gebrauchen. Dieser wird dann zwischen zwei Seidenfasern so aufgehängt, dass er mit der Kante einen Schenkel der Gabel berührt. Ein auf den Schirm geworfener Lichtstrahl zeigt die Vibration der Gabel an. Dieses schöne und höchst empfindliche Verfahren ist von Prof. O. N. Rood von Columbia College, New-York, der sich desselben zum ersten Male in einer am 28. December letzten Jahres in New-York gehaltenen öffentlichen Vorlesung bediente. Wir haben jedoch gefunden, dass für unsere Versuche das Bild der Korkkugel genau genug und dabei bequemer herzustellen ist.

Zahlenverhältnisse der Versuche und analoge Facta bei den Lichterscheinungen.

Die ut_3 Stimmgabel Nr. 1 machte 256 vollständige Schwingungen in der Secunde, während Nr. 3 deren 254 machte; somit ist die Wellenlänge resp. 4,367 und 4,401 Fuss, welche ich mit λ und λ' bezeichne. Nehmen wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bei 60° Fahr. als 1118 Fuss in der Secunde an.

256 Schwingungen in 1118 Fuss gibt $\lambda = 4{,}367$ und
254 „ „ 1118 Fuss $- 2\lambda$ $(= 1109.266)$ gibt $\lambda = 4{,}367$.

Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingungen und λ in beiden Fällen gleich sind, ist mithin $n\left(\frac{V}{\lambda}\right)$, die Anzahl Schwingungen pro Secunde, welche an einem entfernten Puncte anlangen, ebenfalls gleich, und bringen 256 Schwingungen eines stillstehenden Körpers dieselbe Wirkung auf eine entfernte Fläche hervor wie 254 Schwingungen eines Körpers, der sich gegen diese Fläche mit einer Geschwindigkeit von $2\lambda = 8{,}734$ Fuss pro Secunde bewegt. Dies ist die Geschwindigkeit, mit der wir die Gabel in Exp. 6 schwangen.

Betrachten wir nun die analogen Lichterscheinungen. Nehmen wir an, dass Gabel Nr. 1 statt 256 Schwingungen pro Secunde deren

Digitized by Google

595 Millionen Millionen mache, welche Zahl wir dem Strahl D_1 des Spectrums beimessen wollen; dann wird Gabel Nr. 3 590 Millionen Millionen Schwingungen repräsentiren. Dies ergibt eine Wellenlänge 0,0000042^{mm} länger als die von D_1 und stimmt beinahe mit der Eisenlinie 0,42 Theile unterhalb D_1 in Ångström's Karte überein. Wir haben gesehen, dass Gabel Nr. 3 mit 254 Schwingungen sich dem Ohr mit einer Geschwindigkeit von 8,734 Fuss nähern musste, um die Note hervorzubringen, welche ein stillstehender Körper mit 256 Schwingungen abgibt; ebenso muss ein Stern, dessen Strahl 590 Millionen Millionen Schwingungen in der Secunde macht, sich dem Auge mit einer Schnelligkeit von 28470 Meilen in der Secunde nähern, um eine Farbe zu erzeugen, die derjenigen des Strahls D_1 einer stillstehenden Flamme gleich sei.

Am 8. Februar 1872.

Digitized by Google

Ueber ein neues Laternen-Galvanometer.

Von

Alfred M. Mayer,

Ph. Dr, Professor der Physik am Stevens-Institut der Technologie, Hoboken, N.-J., Ver.-St. A.

(Hiezu Tafel XI Fig. 6.)

Am 21. December 1871 hielt ich eine Vorlesung über Magnetismus vor dem American Institute im Opernhaus der Stadt Newyork. Für meine Abhandlung über den Erdmagnetismus hatte ich ein Galvanometer nöthig, welches so construirt wäre, dass es die Abweichungen der Magnetnadel einer grossen Zuschauermenge veranschaulichen würde; zu gleicher Zeit musste man den astatischen Zustand dieser Nadel vollständig in der Gewalt haben, um ihn nach Belieben während der Vorlesung abändern zu können; während schliesslich die Dämpfungsmagnete so arrangirt werden mussten, dass ich die Nadel augenblicklich wieder in den magnetischen Meridian zurückbringen konnte, wenn dieselbe durch den Gebrauch eines ungeheuren Electromagneten daraus entfernt wurde. Unter anderem gebrauchte ich dieses Galvanometer zur Untersuchung des magnetischen Zustandes des den Electromagneten umgebenden Raumes. Dies brachte ich dadurch zu Stande, dass ich die Drahtspirale zu verschiedenen Abständen um die Inclinationslinie drehte und die dadurch hervorgebrachten magnetoelectrischen Ströme dem Galvanometer zuführte.

Das Laternen-Galvanometer, welches ich jetzt beschreiben werde, wurde von mir zuerst am 13. November letzten Jahres erfunden und späterer Gebrauch hat mich von dessen Vorzüglichkeit so vollständig überzeugt, dass ich beschloss, eine formelle Beschreibung davon zu veröffentlichen.

In der Figur 6 Tafel XI ist M ein 45° gegen die Verticallinie inclinirter Flachspiegel. Vor demselben befinden sich die hinteren Condensirlinsen einer Oxycalcium-Laterne; während die vordere Condensirlinse in horizontaler Position zu c oberhalb des Spiegels angebracht ist. Die hinteren Linsen haben eine solche Krümmung, dass,

Digitized by Google

wenn das Calcium-Licht ungefähr zwei Zoll weit von der nächsten absteht, ein beinahe paralleles Lichtbündel auf M fällt, von wo er nach der oberen Linse c[1]) geworfen wird, auf welcher eine runde Glasplatte ruht, deren Rand mit einem abgetheilten Cirkel versehen ist. In der Mitte der Platte befindet sich eine kurze Nadelspitze, worauf sich eine Magnetnadel frei dreht. Oberhalb der Nadel ist die Projectirlinse L, deren Lichtstrahlen mittelst des Flachspiegels R, welcher sich um eine Horizontalaxe sowohl als in Azimuth um die Axe der Linse dreht, in beliebiger Richtung geworfen werden können[2]).

Die horizontale Condensirlinse ist fünf Zoll im Durchmesser und die Magnetnadel vier Zoll lang. Mit diesem Apparat erhielt ich ein scharf gezeichnetes helles Bild des Graden-Cirkels, 16 Fuss im Durchmesser.

Um diese Nadel mittelst eines electrischen Stromes in Bewegung zu setzen, befestigte ich so nahe als möglich zu der Condensirlinse zwei verticale Drahtspiralen S, S, welche aus $^1/_{10}$ Zoll viereckigem Kupferdraht gebildet waren, um die Windungen so nahe als möglich zusammen zu bringen. Dieselben waren durch sehr dünnes mit Paraffin überzogenes Vulcanit-Band getrennt und auf Vulcanit-Platten befestigt. Die Spiralen haben einen inneren Durchmesser von vier und einen äusseren von zehn Zoll und jede enthält 49 Fuss Draht in 26 Windungen. Die vier Enden der Spiralen sind mit Verbindungsschrauben versehen, wovon zwei dieselben so verbinden, dass der Strom in gleicher Richtung durch beide läuft. Die Spiralen werden so angebracht, dass eine ihre Mittelpuncte verbindende Linie durch den Mittelpunct der Magnetnadel geht.

Die Verticallaterne ruht auf einer Base drei und einen halben Fuss lang und an den Seiten mit Leisten versehen, welche die Mag-

1) Diese Vorrichtung, welche von Präsident Morton herrührt, gibt ein gleichförmig helles farbloses Feld. — In dem Quarterly Journal of Science Oct. 1871 beschreibt Prof. Morton diese Erfindung wie folgt vor dem American Institute: „Die Originalidee und der allgemeine Plan des Instruments rühre von Prof. J. P. Cooke von Cambridge her. Er selbst beanspruche nur die mechanische Einrichtung verbessert und den Gebrauch der Combination von Condensationslinsen und Reflectirungslinsen eingeführt zu haben, um ein weisses gleichförmig erhelltes Licht auf dem Schirm zu erhalten, sowie die Einführung eines einfachen versilberten Spiegels anstatt der metallischen, oder Foucault's, welche so schwer in Ordnung zu halten sind."

2) Bei Vorlesungen in Universitäten ist es oft vortheilhaft, wenn man das Bild des Cirkels und der Nadel auf einen weiss überzogenen Tisch werfen kann, auf den die Classe herabsieht. Das Galvanometer kann dann auf dem Tisch gebraucht werden.

Digitized by Google

nete A und B, 15 Zoll lang und ein Zoll im Durchmesser in Position halten. Diese Magnete können nicht nur vor- und rückwärts gerückt, sondern auch um ihre Mittelpuncte gedreht werden. Die gleichen Pole der Magnete und der Nadel sind in derselben Richtung und indem man die ersteren der Nadel nähert oder sie von derselben entfernt, macht man dieselbe mehr oder weniger astatisch. Im Falle die Nadel nicht den Meridian einhält, wenn man die Magnete nahe bringt, so kann man dies durch die Drehung eines oder beider bewirken und auf diese Weise alle äusseren Störungen abscheiden.

Man kann die Nadel auch auf die gewöhnliche Weise astatisch machen, indem man sie mittelst eines Seidenfadens aufhängt, einen Draht von derselben durch ein Loch in dem Condensor und in dem Spiegel führt und an den Draht eine andere Nadel befestigt, deren Pole sich in umgekehrter Ordnung befinden.

Bei der Untersuchung von Thermoströmen bedient man sich einer kleineren Nadel und eines Condensors, der die Näherung der Spirale erlaubt; man thut jedoch besser, wenn man nahe um die Nadel eine flache Spirale (nur einen Draht breit) befestigt und eine aufgehängte astatische Combination gebraucht, deren untere Nadel dem Einflusse der Dämpfungsmagnete ausgesetzt ist[1]). Die Spirale braucht dann nicht breiter als $1/20$ Zoll zu sein und ihr auf den Schirm geworfenes Bild kann als Nullpunct dienen.

Die folgenden Versuche mit diesem Galvanometer werden seine Brauchbarkeit darlegen.

1) Eine Spirale $2\,1/2$ Fuss im Durchmesser und bestehend aus 40 Windungen von $1/10$ Zoll Draht, 300 Fuss in Länge wurde so gehalten, dass sie mit der Fläche die Inclinationslinie rechtwinkelig durchschnitt. Ihre Enden wurden dann mit der durch die Magnete astatisch gemachten Nadel in Verbindung gesetzt und ich drehte die Spirale schnell 180^0 um eine gegen die Inclinationslinie rechtwinklige Axe. Das Galvanometer zeigte eine Abweichung von ungefähr 12^0 durch den der Erde abgewonnenen magnetoelektrischen Strom.

---

1) Die obere Nadel dieser astatischen Combination schwingt im Inneren der Spirale, welche die Nadel und den Condensor c enthält; die untere Nadel schwingt unter dem Spiegel M und ist an der oberen mittelst eines steifen Drahtes befestigt, welcher durch Löcher im Condensor und im Spiegel gesteckt wird. In einer anderen Vorrichtung habe ich diese Nadel oberhalb der Spirale angebracht und sie mittelst eines oberhalb des Reflectors R angebrachten Magnetes „gedämpft."

Digitized by Google

2) Dieselbe Spirale, mit einem Commutator versehen, wurde auf dieselbe Weise andauernd gedreht. Die Nadel zeigte eine Abweichung von 85° und blieb an diesem Puncte so lange stehen, als die Spirale gedreht wurde.

3) Die beiden Eisencylinder des grossen Electromagneten des Stevens-Instituts wurden endweise aneinandergelegt, so dass sie einen einzigen Eisencylinder 7 Fuss lang und 6 Zoll im Durchmesser bildeten und dann mit 8 Magnetisirungsspiralen umgeben, welche im Ganzen 2000 Fuss Kupferdraht 1/5 Zoll dick enthielten. Durch diese wurde ein electrischer Strom aus 60 Platten von Zink und Kohle (10×8 Zoll) geleitet.

Eine aus 1/20 Zoll Draht bestehende Spirale 20 Zoll im Durchmesser wurde dann 180° um eine Verticalaxe 3 1/2 Fuss vom Ende des Magnets gedreht. Die Nadel drehte sich 3°.

4) Eine aus 5 Windungen 1/20 Zoll Drahts bestehende Spirale 20 Zoll im Durchmesser wurde in derselben Weise und bei gleichem Abstande gedreht. Die Nadel drehte sich 30°.

5) Ebenso mit Spirale von 10 statt 5 Windungen. Drehung der Nadel 50°—60°.

6) Eine aus 10 Windungen 1/20 Zoll Draht bestehende Spirale 20 Zoll im Durchmesser wurde 180° um eine Verticalaxe 6 1/2 Fuss vom Ende des Magnets gedreht. Abweichung der Nadel 22°.

7) Dieselbe Spirale 3 Fuss 8 Zoll oberhalb des Centrums der Magnetaxe und 180° um eine Verticalaxe gedreht, bewirkte eine Abweichung von 80°.

8) Eine Spirale 2 1/2 Fuss im Durchmesser, bestehend aus 40 Windungen, 300 Fuss, 1/10 Zoll Draht, 28 Fuss vom Centrum des Magnets entfernt und so gehalten, dass seine Fläche mit dem Aequator des Magnets zusammenfiel, wurde um seine Verticalaxe gedreht. Abweichung der Nadel 20°.

Die folgenden Versuche beweisen die durch eine lange Reihe von Untersuchungen ermittelten ausgezeichneten Proportionen der in 1, 2 und 8 gebrauchten Spirale für die Evolution und das Studium der von der Erde hervorgebrachten electrischen Ströme.

9) Die in 1, 2 und 8 gebrauchte Spirale wurde auf den Tisch gelegt und ihre Enden wurden mit einem Galvanometer verbunden, das in Verbindung mit einer Nobili's thermo-electrischen Batterie gebraucht wurde. Die Nadeln dieses Instrumentes machten eine Schwin-

Digitized by Google

gung in 9 Secunden. Ich hob die östliche Seite der Spirale nur 6 Zoll und die Nadeln schwangen 10^0, während sie bei 9 Zoll schon 22^0 anzeigten. Ich stellte nun die Spirale in eine von Norden nach Süden gehende Verticalebene. Als ich dann den oberen Theil nur 6 Zoll nach Osten oder nach Westen neigte, schwangen die Nadeln bis auf 60^0 und bei 9 Zoll flogen sie mit Gewalt bis 90^0.

Die Vortheile des neuen Galvanometers sind in wenigen Worten aufzuzählen. Es liefert ein reines helles Bild des graduirten Cirkels und der Nadel auf dem Schirm. Es kann nach Belieben mehr oder weniger astatisch gemacht werden, so dass man es der Stärke der electrischen Ströme anpassen kann. Die Richtung der Nadel hängt vollkommen von der Stellung der Dämpfungsmagnete ab; und endlich, es ist von einfacher Construction und kann schnell für Experimente in die Reihe gebracht werden.

Digitized by Google

Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen.

Erste Abhandlung.

Von

J. Stefan,

wirklichem Mitgliede der kaiserlichen Academie der Wissenschaften.

(Vom Herrn Verfasser aus dem Wiener Sitzungsbericht freundlichst mitgetheilt.)

Durch die dynamische Theorie der Gase wurde zuerst der Druck erklärt als Effect der Stösse der rasch bewegten Molecüle. Aus der bekannten Grösse des Druckes und der Dichte hat Clausius eine der Constanten, welche die Natur jedes Gases characterisiren, bestimmt, nämlich die Geschwindigkeit der progressiven Bewegung der Gasmolecüle.

Durch dieselbe Theorie ist von Maxwell das Wesen der inneren Reibung in Gasen erklärt worden als Effect des Austausches der Geschwindigkeiten zwischen den in verschiedenen Schichten verschieden schnell bewegten Molecülen. Aus den durch die Ausflussversuche von Graham, durch die Schwingungsversuche von O. L. Meyer und Maxwell gegebenen Werthen der inneren Reibung konnte Maxwell eine zweite, die Natur der Gase bestimmende Constante ableiten, nämlich die Anzahl der Zusammenstösse, welche zwischen den Molecülen eines Gases in der Zeiteinheit stattfinden, oder die mittlere Länge des Weges, den ein Molecül von einem bis zum nächsten Zusammenstosse macht.

Aus derselben Theorie folgt aber weiter, dass durch die zwei für jedes Gas gefundenen Constanten auch die Geschwindigkeit der Diffusion verschiedener Gase und die Grösse der Wärmeleitung bestimmt ist. Es sind von Loschmidt eine Reihe von Bestimmungen der Diffusionsgeschwindigkeiten für verschiedene Gascombinationen ausgeführt worden und ich habe gefunden, dass man mit Hilfe der bekannten Constanten der Gase die Ergebnisse dieser Versuche hätte vorausberechnen können.

Digitized by Google

Wirklich vorausberechnet wurden aber solche Zahlen von Maxwell und Clausius für das Wärmeleitungsvermögen der Gase. Für die Begründung der dynamischen Gastheorie ist daher die experimentelle Bestimmung dieses Leitungsvermögens von der grössten Wichtigkeit.

Es gehören aber schon die Bestimmungen des Leitungsvermögens der Metalle zu den schwierigsten. Die Fehler, welche bei solchen Untersuchungen unterlaufen, sind ganz ungewöhnlich, so dass z. B. Despretz finden konnte, Platin leite die Wärme besser als Kupfer, während Wiedemann und Franz das Leitungsvermögen des Kupfers dreimal grösser fanden als das des Platin. Und dabei handelt es sich nur um relative Bestimmungen. Allerdings ist durch die Methoden von Forbes, Neumann und Angström nun ein grosser Fortschritt gemacht, und wird ein solcher, hoffe ich, aus den in den vorliegenden Untersuchungen angeregten Methoden auch für dieses Gebiet noch erwachsen.

Noch schwieriger wird die Aufgabe, wenn es sich um Flüssigkeiten handelt. Es treten hier neue Fehlerquellen auf, welche aus den Strömungen innerhalb der Flüssigkeit und aus dem Wärmeaustausch zwischen der Flüssigkeit und den sie einschliessenden Gefässwänden entspringen. Es sind nur wenige Versuche in dieser Richtung gemacht worden von Despretz, dann von Paalzow, welche relative Bestimmungen zum Ziele haben, von Lundquist, welcher, die Angström'sche Methode anwendend, absolute Bestimmungen lieferte. Auch auf diesem Felde werden sich, wie ich erwarte, meine Methoden und Apparate als die einfachsten und sichersten von allen bisher angewandten erweisen.

Die Schwierigkeiten, mit welchen man bei Untersuchungen über das Leitungsvermögen von Flüssigkeiten zu kämpfen hat, treten, wenn es sich um Gase handelt, noch in vergrössertem Maasstabe auf. Der geringe Wärmeinhalt der Gase hat zur Folge, dass der Einfluss der Wände, der Einfluss eingeführter Thermometer so gewaltig wird, dass die Grösse, welche man sucht, verschwindet gegen die Störungen, die sie erleidet. So war Magnus nur für Wasserstoffgas die Existenz des Leitungsvermögens zu beweisen im Stande, für die übrigen Gase gaben seine Versuche sogar ein negatives Resultat.

Die verschiedenen Versuche, welche ich ausgeführt habe, zerfallen in zwei Arten. Nach der ersten Art wurde die in Cylindern einge-

Digitized by Google

schlossene Luft einseitig entweder von oben erwärmt oder von unten abgekühlt. Die eingeschlossene Luft selbst bildete die thermometrische Substanz und konnte für jeden Zeitpunct ihre mittlere Temperatur manometrisch bestimmt werden. Die aus dieser mittleren Temperatur für das Leitungsvermögen abgeleitete Zahl fällt zu klein oder zu gross aus, je nachdem in den Seitenwänden des Cylinders die Wärme langsamer oder schneller sich verbreitet, als in der Luft. Der erste Fall trat ein, wenn die Wände aus Glas waren, er trat auch noch ein bei Wänden aus Eisen, hingegen stellte sich der zweite Fall her bei Wänden aus Zink. Es steht also die Luft als Temperaturleiter zwischen Eisen und Zink.

Bei den Versuchen nach der zweiten Art wurde eine abgeschlossene Luftmenge von allen Seiten gleichmässig erwärmt oder abgekühlt und wieder konnte für jeden Zeitpunct ihre Mitteltemperatur manometrisch bestimmt werden. Die ersten Apparate waren kugelförmige Luftthermometer aus Kupferblech. Die aus diesen Versuchen berechneten Werthe des Leitungsvermögens sind wegen des Einflusses der Strömungen zu gross. Ganz befriedigende Resultate lieferten erst die nach der letzten in dieser Abhandlung beschriebenen Methode ausgeführten Versuche, bei denen doppelwandige Luftthermometer aus Kupfer oder Messingblech angewendet wurden, derart, dass das auf das Leitungsvermögen zu untersuchende Gas den Raum zwischen den beiden Metallhüllen ausfüllt.

Diesen Apparat möchte ich wegen seiner vorzüglichen Eignung zur Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens nicht nur der Luft, sondern auch anderer Substanzen, Diathermometer nennen. Die mit ihm gefundenen Werthe des Leitungsvermögens der Luft stehen nun in einer wirklich unerwarteten Uebereinstimmung mit der von Maxwell vorausberechneten Grösse desselben. Meine Versuche liefern, Centimeter, Secunde und Gramm als Einheiten angenommen, die Zahl 0.0000558, das Leitungsvermögen der Luft also nahe 20000mal kleiner als das des Kupfers, nahe 3400mal kleiner als das des Eisens. Maxwell sagte vorher, die Luft müsse nahe 3500mal schlechter leiten als Eisen und nach der von ihm aufgestellten Formel finde ich, in obigen Einheiten ausgedrückt, das Leitungsvermögen der Luft = 0.000054.

Wenige von den physicalischen Theorien haben solche glänzend bewährte Vorherbestimmungen aufzuweisen und muss nun wohl die

Digitized by Google

dynamische Theorie der Gase als eine der am besten begründeten physicalischen Theorien angesehen werden.

Auch ein anderes Gesetz, das durch diese Theorie gegeben wurde, nämlich die Unabhängigkeit des Leitungsvermögens der Luft von ihrer Dichte, haben die Versuche in ganz unzweifelhafter Weise als richtig bewiesen.

Ebenso stimmen die relativen Verhältnisse der Leitungsvermögen der verschiedenen Gase mit den Formeln von Maxwell. Die darauf sich beziehenden Versuche, sowie die noch anzustellenden, über die Abhängigkeit des Leitungsvermögens von der Temperatur werden den Inhalt der zweiten Abhandlung bilden. Ich will nur ein Factum voraus nehmen, nämlich, dass Wasserstoffgas, sowie Maxwell es vorhergesagt, siebenmal besser die Wärme leitet als die Luft.

Meine ersten Versuche schliessen sich an die von Despretz und Paalzow über die Wärmeleitung von Flüssigkeiten, von Magnus über die Wärmeleitung in Gasen angestellten insoferne an, als bei denselben auch eine cylindrische Luftsäule von oben nach ihrem ganzen Querschnitte erwärmt wurde. Sie unterscheiden sich aber von den citirten wesentlich dadurch, dass erstens nicht der Beharrungszustand abgewartet, und zweitens dadurch, dass nicht durch eingeführte Thermometer die Temperatur an bestimmten Stellen der Luftmasse bestimmt, sondern letztere selbst als thermometrische Substanz verwendet wurde, der ganze Apparat also ein Luftthermometer darstellte. Zu diesem Behufe wurde ihm folgende Einrichtung gegeben.

In einen Glascylinder wurde an dem oberen Ende eine cylindrische Büchse aus dünnem Kupferblech eingekittet. Durch sie wurde der Luft im Cylinder Wärme zugeführt. Ihre äussere Base war deshalb mit drei Röhrenansätzen versehen; durch den einen konnte Wasserdampf eingeleitet, durch den andern abgeleitet werden, durch den dritten ging ein Thermometer in die Büchse. Den Boden des Glascylinders bildete eine Metallplatte, in welche in der Mitte ein Manometerrohr und daneben ein Hahn eingekittet war.

Die Versuche wurden in folgender Weise gemacht. Zu einem bestimmten Zeitpuncte wurde ein Rohr, durch welches aus einem geschlossenen Siedegefässe reichlicher Dampf strömte, in die Kupferbüchse eingeführt, die Schläge einer Secundenuhr gezählt und jene

Digitized by Google

Zeiten notirt, in welchen die Flüssigkeit im Manometerrohr bestimmte Standänderungen erfuhr.

Direct beobachtet wurden also die Druckzunahmen der eingeschlossenen Luftsäule und die dazu erforderlichen Zeiten. Die Zunahme des Druckes bildet das Maass für die Zunahme der mittleren Temperatur der im Cylinder befindlichen Luft. Wird die Temperatur der Luft vor dem Versuche, welche auch gleich ist der Temperatur der Umgebung, zum Nullpunct der Scala gewählt, und steht dabei die Luft im Gefässe unter dem Drucke p_0, so ist die mittlere Temperatur U der Luft, wenn der Druck auf p gestiegen ist, gegeben durch die Gleichung

$$p = p_0(1 + \alpha U),$$

worin $\alpha = 0.00366$ den Ausdehnungscoëfficienten der Luft darstellt Die Zunahme des Druckes

$$\Delta p = p - p_0$$

ist also mit U verbunden durch die Gleichung

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \alpha U.$$

Zur Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens der Luft aus U wurde vorausgesetzt, dass sich auf die Fortpflanzung der Wärme in der gegebenen Luftsäule die Fundamentalgleichung der Theorie der Wärmeleitung anwenden lasse, nämlich die Gleichung

$$\frac{du}{dt} = k\frac{d^2u}{dx^2}, \tag{1}$$

welche die Gesetze der Wärmevertheilung in einem prismatischen oder cylindrischen Körper gibt, wenn in demselben die Temperatur in allen Puncten eines und des nämlichen Querschnittes sich in gleicher Weise ändert, auch kein Verlust an Wärme nach der Seite stattfindet. In der citirten Gleichung bedeutet u die Temperatur des Querschnittes in der Tiefe x zur Zeit t, k ist der Quotient aus dem Wärmeleitungsvermögen K, und der specifischen Wärme der Volumseinheit der leitenden Substanz, welche, wenn c die specifische Wärme, s das specifische Gewicht derselben auf Wasser als Einheit bezogen sind, durch cs ausgedrückt ist, so dass

$$k = \frac{K}{cs}. \tag{2}$$

Digitized by Google

Hat die Luftsäule ursprünglich überall die Temperatur Null und wird zu Beginn der Zeit t die Temperatur der oberen Basis plötzlich auf den Werth a gebracht und bei diesem Werthe fortan erhalten, so hat die mittlere Temperatur zur Zeit t den Werth

$$U = \frac{2a}{l}\sqrt{\frac{kt}{\pi}},$$

wenn l, die Länge des Cylinders, so gross ist, dass die während der Zeit t durch die untere Endfläche entwichene Wärme vernachlässigt werden kann.

Ist diese Voraussetzung nicht erlaubt, dann hat U einen andern Werth und zwar wird, wenn z. B. die untere Endfläche fortwährend bei der Temperatur Null erhalten wird,

$$U = \frac{a}{2}\left[1 - \frac{8}{\pi^2}\left(e^{-mt} + \frac{1}{9}e^{-9mt} + \frac{1}{25}e^{-25mt} + \ldots\right)\right],$$

worin m abkürzend für $\frac{k\pi^2}{l^2}$ gesetzt ist. Beide Gleichungen werden leicht aus den diesen Fällen entsprechenden Integralen der obigen Differentialgleichung gewonnen.

Die Zunahme des Druckes ist also im ersten Falle gegeben durch die Formel

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{2\alpha a}{l}\sqrt{\frac{kt}{\pi}}$$

und folgt aus dieser Gleichung

$$k = \frac{\pi l^2}{4\alpha^2 a^2 t}\left(\frac{\Delta p}{p_0}\right)^2. \qquad (3)$$

Die Voraussetzung, dass bei diesen Versuchen die eingeschlossene Luft keine Wärme an die Wände abgebe, oder keine von ihnen erhalte, muss allerdings schon von vorneherein als unzulässig erscheinen. Da jedoch bisher noch gar keine Versuche vorlagen, welche einen Schluss auf die Art und Grösse des Einflusses der Wände erlaubten, so mussten zuerst solche gemacht werden, um die möglichen Abweichungen von den aufgestellten Formeln kennen zu lernen.

Von den vielen Versuchen, die ich in der angegebenen Weise ausgeführt habe, will ich nur zwei als Beispiele anführen.

Der erste wurde mit einem Glascylinder von 15 Cm. Länge, 5.8 Cm. Durchmesser, nahe 2 Mm. Wanddicke gemacht. Die Länge

Digitized by Google

des eingeschlossenen Luftcylinders ist 13.8 Cm. Die Manometerflüssigkeit war Wasser und sank die Wassersäule nach Einführung des Wasserdampfes um

Theilstriche	in Secunden
25	4
35	8
45	14
55	24
65	49
75	76
85	107
95	142
105	184
115	237
125	299.

Die Temperatur der äusseren Luft war 21°, das Thermometer in der Büchse zeigte 100°. Die an der Manometerscala angebrachten Theilstriche stehen um 1.45 Mm. von einander ab.

Der zweite Versuch wurde mit einem Glascylinder von 15.5 Cm. Länge, 11.1 Cm. Durchmesser und auch nahe 2 Mm. Wanddicke gemacht. Die Länge des eingeschlossenen Luftcylinders ist 14.5 Cm. Die Temperaturen, wie vorhin. Die Wassersäule sank um

Theilstriche	in Secunden
25	4
35	9
45	15
55	22
65	32
75	41
85	56
95	77
105	100
115	124
125	150.

Aus diesen beiden Versuchen wird der Einfluss der Gefässwände schon ersichtlich. Die Mitteltemperatur steigt anfänglich in beiden Gefässen um gleiche Beträge in nahe gleichen Zeiten, nach 24 Secun-

Digitized by Google

den aber wird das Wachsthum derselben im engen Gefässe sehr bedeutend verzögert gegen das Wachsthum im zweiten Gefässe, also jedenfalls im ersten relativ mehr Wärme an die Wand abgegeben als im zweiten.

Wurde dasselbe Gefäss mit Wasserstoffgas gefüllt und der Versuch wie vorhin gemacht, so sank die Wassersäule um

Theilstriche	in Secunden
50	4
70	8
90	14
110	23
130	33
150	60
170	98
190	140.

Auch hier zeigt sich der Einfluss des Wärmeverlustes an die Wände. Während in den ersten 30 Secunden bei diesem Versuch die Wassersäule um dieselbe Zahl von Theilstrichen wie bei dem Versuche mit der Luft, in einer 4.5—4.9mal kleineren Zeit sinkt, sinkt dann diese Verhältnisszahl gleich auf 2.7 herab zum Beweise, dass das Wasserstoffgas einen grösseren Verlust an Wärme erleidet als die Luft. Geben nun diese Versuche das Leitungsvermögen des Wasserstoffgases mindestens 4.5—4.9mal grösser, als das der Luft, so muss geschlossen werden, dass dasselbe noch bedeutender jenes der Luft überwiegt, da das Wasserstoffgas jedenfalls auch schon während der ersten 30 Secunden stärkere Wärmeverluste erleidet, als die Luft.

Nach der oben entwickelten Formel müssen, wenigstens für die ersten Beobachtuungen, die Höhen, um welche die Wassersäule sinkt, sich verhalten, wie die Quadratwurzeln aus den zugehörigen Zeiten. Dividirt man nun die Höhen durch die Wurzeln der Zeiten, wie dieselben der zweite Versuch ergeben, so erhält man die Quotienten

12.5, 11.7, 11.7, 11.8, 11.5, 11.7, 11.3 u. s. w.,

deren nahe gleiche Werthe eine merkwürdige Uebereinstimmung mit der aufgestellten Formel zeigen.

Und doch ist diese Uebereinstimmung nur eine zufällige. Es wurde zwar auch für andere Versuche der gedachte Quotient nahezu constant gefunden, doch variirte diese Constante von einem Versuch zum an-

Digitized by Google

dern. Nachdem ich sehr viele Versuche mit verschiedenen Apparaten und verschiedenen Manometerflüssigkeiten gemacht, um der Sache auf den Grund zu kommen, gab endlich folgende Abänderung der Versuche den Beweis für ihre Bedeutungslosigkeit.

Die Erscheinungen verliefen nämlich ganz anders, als nicht mehr Wasserdampf, sondern siedendes Wasser als Erwärmungsmittel angewendet wurde. Zu diesem Behufe wurde aus der kupfernen Büchse der obere Boden herausgenommen und zu Beginn des Versuches heisses Wasser in die Büchse geschüttet und zugleich der Deckel mit dem Dampfrohr aufgesetzt, so dass das Wasser fortwährend im Sieden blieb. Die Wassersäule sank jetzt schon während der ersten 3 Secunden um 83 Theilstriche, sie sank dann noch um zwei Theilstriche, kehrte aber dann um und stieg langsam zurück in die Höhe um sechs Theilstriche. Von da an sank sie wieder, erreichte wieder

Theilstriche	nach Secunden
85	21
95	39
105	57
115	82
125	108
135	136.

Ebenso verliefen die übrigen auf diese Art angestellten Versuche.

Nach diesem Resultate ist nicht zu zweifeln, dass die Anwendung des Wasserdampfes als Erwärmer einer der gemachten Voraussetzungen nicht entspricht, dass er der Bodenplatte der Kupferbüchse nicht plötzlich oder wenigstens in sehr kurzer Zeit die Siedetemperatur des Wassers gibt, sondern dies erst nach längerer Zeit zu Stande bringt. Die oben gefundene Uebereinstimmung der Versuchsresultate mit der aufgestellten Formel hat also darin ihren Grund, dass mit der allmälig steigenden Temperatur der Bodenplatte der Büchse die ebenfalls steigende Wärmezufuhr die fortwährenden Wärmeverluste der eingeschlossenen Luft bei dem weiteren Gefässe nahe compensirt, während bei dem engeren Gefässe die Verluste überwiegen.

Der Verlauf der Erscheinung bei den Versuchen mit siedendem Wasser lehrt, dass, wenn diese zur Bestimmung des Leitungsvermögens verwendet werden sollten, nur Beobachtungen innerhalb der drei ersten Secunden in Betracht kommen können. Abgesehen von der Schwierig-

Digitized by Google

keit, in einer so kurzen Zeit genaue Bestimmungen zu machen, ist aber noch das Verfahren deshalb wenig Erfolg versprechend, weil durch die Operation des Einschüttens des Wassers Fehlerquellen geschaffen werden, deren Einfluss gerade in der ersten Zeit am störendsten ist.

Ich suchte diese Fehlerquelle zu vermindern, indem ich die Versuche dahin abänderte, dass der im Cylinder eingeschlossenen Luft nicht Wärme zugeführt, sondern entzogen wurde. Der Apparat erhielt folgende Umgestaltung. Auf das untere Ende eines Glascylinders wurde eine dünne Kupferplatte aufgekittet; auf das andere Ende eine Messingplatte, in die wieder in der Mitte ein Manometerrohr und daneben ein Hahn eingekittet waren.

Zu einem bestimmten Zeitpuncte wurde der Glascylinder auf eine sorgfältig geebnete Schneefläche aufgesetzt und dann die Zeiten notirt, in welchen die Flüssigkeit im Manometerrohr bestimmte Standänderungen erfuhr. Es erwiesen sich jedoch auch bei dieser Versuchsreihe die ersten Bestimmungen als sehr wenig verlässlich.

Benützt man die mitgetheilte Beobachtung, nach welcher in drei Secunden die Wassersäule um 83 Theilstriche = 12 Cm. fiel, um nach der Formel (3) k zu berechnen, so hat man in derselben

$$l = 14.5,\ \Delta p = 12,\ p_0 = 1000$$
$$\alpha = 0.00366,\ a = 79,\ t = 3$$

einzuführen und erhält

$$k = 0.094.$$

Da die Wärmecapacität der Luft bei constantem Volumen gegen die des Wassers als Einheit = 0.1686 ist und ein Cubikcentimeter Luft 0.001293 Gramm wiegt, so ist das Wärmeleitungsvermögen der Luft nach der Formel (2)

$$K = 0.094 \times 0.1686 \times 0.001293 = 0.00002,$$

eine Zahl, die als unterer Grenzwerth zu betrachten ist. Sie ist nämlich jedenfalls zu klein, weil auch schon innerhalb der ersten drei Secunden Wärmeverluste eintreten, namentlich aber auch deshalb, weil die Temperatur der Kupferplatte auch bei Anwendung des heissen Wassers auf der inneren Seite nicht alsogleich die Temperatur 100° annimmt.

Digitized by Google

War so nun eine untere Grenze für das Leitungsvermögen gefunden, so lag es nahe, auch eine obere zu suchen. Dazu konnte dieselbe Versuchsmethode führen, wenn die Gefässwand aus einem solchen Material gewählt wird, dass die Luft während der Erwärmung von oben nicht Wärme an die Wand verliert, sondern vielmehr Wärme von ihr gewinnt. Dies wird der Fall sein, wenn die Wand ein besserer Temperaturleiter ist, als die Luft. Die Geschwindigkeit, mit der sich eine bestimmte Temperaturerhöhung in einem Körper unter gegebenen Verhältnissen fortpflanzt, ist nicht abhängig von der Grösse des Wärmeleitungsvermögens K des Körpers, sondern von der Grösse des Coëfficienten k. Dieser ist nun z. B. für Eisen nach den Bestimmungen von Angström in den obigen Massen ausgedrückt = 0.18, für Wismuth berechne ich ihn mit Hilfe der relativen Messungen von Franz und Wiedemann zu 0.07. Was also die Güte der Temperaturleitung anbetrifft, so lehrt schon der oben für Luft gefundene Werth von k, dass die Luft unter die Metalle sich einreiht. Sollen also bei den anzustellenden Versuchen die Gefässwände der Luft nicht Wärme entziehen, sondern ihr solche zuführen, so müssen Metallgefässe angewendet werden.

Ich wählte zuerst Cylinder aus Eisenblech, dann Cylinder aus Zinkblech, welche oben und unten mit Kupferplatten geschlossen und mit Manometern versehen wurden.

Die mit diesen Apparaten angestellten Versuche lehrten nun, dass auch in den Eisencylindern die Luft noch Wärme an die Wände verliere, dass also die Luft ein besserer Temperaturleiter sei, als das Eisen. Hingegen trat bei den Apparaten aus dickerem Zinkblech der umgekehrte Fall ein. Zu einer sicheren Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens der Luft konnten aber auch diese Versuche nicht verwendet werden, obwohl die Bewegungen des Manometers mit den aufgestellten Formeln in Uebereinstimmung standen. Der Querschnitt der Cylinder — die benützten hatten 6—7 Cm. im Durchmesser — hätte viel grösser gewählt werden müssen, denn es stellte sich heraus, dass sich die Vertheiluug der Wärme in der Luft nach sehr kurzer Zeit der in den Wänden accomodirt hat, diese Versuchsmethode also sich besser zur Bestimmung des Leitungsvermögens der Wände verwerthen lässt, als zur Bestimmung des Leitungsvermögens der Luft. Ich werde deshalb in einer anderen Abhandlung auf diese Versuche und ihre bezeichnete Anwendung zurückkommen und will jetzt zu einer anderen

Digitized by Google

Versuchsmethode übergehen, welche in überzeugenderer Weise einen oberen Grenzwerth für das Leitungsvermögen liefert.

Bei dieser Methode kommt nämlich der Einfluss der Gefässwände ausser Spiel, dadurch, dass einer gegebenen Luftmasse die Wärme nicht mehr einseitig zugeführt oder entzogen wird, sondern die Zufuhr oder Abfuhr an der ganzen Begrenzung in gleicher Weise geschieht.

Allerdings tritt bei dieser Methode eine andere mächtige Fehlerquelle auf, nämlich der Einfluss der Strömungen. Diese bewirken, dass die in dem Gefässe eingeschlossene Luft sich viel rascher erwärmt oder abkühlt, als sie es in Folge der Leitung allein thun könnte. Es erscheint jedoch wieder annehmbar, dass wenigstens zu Beginn des Versuches die Strömungen noch nicht so gewaltig die Erscheinungen gestört haben werden, dass das Resultat des Versuches zu weit von dem beabsichtigten entfernt würde.

Unter den Gefässformen, welche sich einer Berechnung unterziehen lassen, ist die Kugel die einfachste. Es wurde also in eine Kugel aus dünnem Kupferblech von 8 Cm. Durchmesser eine zweimal gebogene Glasröhre eingekittet, welche eine Quecksilbersäule zur Bestimmung des Druckes der eingeschlossenen Luft enthielt, so dass dieser Apparat wieder ein Lufthermometer darstellt.

Die Kugel wurde zu einem bestimmten Zeitpuncte in Eiswasser getaucht und wieder die Zeit notirt, zu welcher das Quecksilber um bestimmte Grössen in die Röhre sank. Es sank dasselbe

um 10 Mm. in 2 Secunden
„ 15 „ „ 4 „

und blieb endlich bei dem Stande von 19 Mm. stationär.

Hat eine Kugel anfänglich durchwegs die Temperatur Null und wird ihre Oberfläche zu Beginn der Zeit plötzlich auf die Temperatur a gebracht und bei dieser auch fortan erhalten, so hat die mittlere Temperatur der Kugel zur Zeit t den Werth

$$U = a\left[1 - \frac{6}{\pi^2}\left(e^{-mt} + \frac{1}{4}e^{-4mt} + \frac{1}{9}e^{-9tm} + \ldots.\right)\right],$$

worin m für $\frac{k\pi^2}{r^2}$ gesetzt ist, unter r den Radius der Kugel verstanden.

Digitized by Google

Ist der anfängliche Druck p_0, die in der Zeit t eingetretene Druckänderung Δp, so ist

$$\Delta p = 0.00366\ p_0 U.$$

Die am Ende des Versuches sich einstellende bleibende Druckänderung sei Δp_1, so ist

$$\Delta p_1 = 0.00366 p_0 a,$$

also hat man

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_1} = \frac{U}{a} = 1 - \frac{6}{\pi^2}\left(e^{-mt} + \frac{1}{4}e^{-4mt} + \ldots.\right).$$

Berechnet man aus den obigen Daten m, was mit Hilfe einer für die Exponentialreihe entworfenen Tafel geschehen kann, so folgt aus der ersten Beobachtung $m = 0.173$, aus der zweiten $m = 0.267$, und aus diesen Werthen folgt, wenn $r = 4$ Cm. eingeführt wird, $k = 0.28$ aus der ersten, $k = 0.43$ aus der zweiten Beobachtung.

Der viel grössere letztere Werth zeigt, wie bedeutend mit wachsender Zeit der Einfluss der Strömungen sich gestaltet.

Der erste der beiden Werthe steht jedoch in Uebereinstimmung mit dem vorhin gefundenen Resultate, dass die Luft als Temperaturleiter zwischen Eisen und Zink falle; es ist nämlich, wie schon oben bemerkt wurde, für Eisen $k = 0.18$, für Zink hingegen berechnet sich nach der Bestimmung von Neumann $k = 0.45$. Auch bei wiederholten Versuchen haben sich für k aus der anfänglichen Beobachtung nur wenig von diesem verschiedene Werthe gegeben. Es ist aber wegen der Kürze der Zeit diese anfängliche Beobachtung sehr unsicher. Ich suchte deshalb diese Zeit zu verlängern dadurch, dass ich eine grössere Kugel von 32 Cm. Durchmesser zu einem Luftthermometer einrichtete und mit derselben ähnliche Versuche wie mit der kleinen ausführte.

Die Quecksilbersäule sank um

5	Mm.	in	6	Secunden
10	„	„	11	„
15	„	„	17	„

und blieb beim Stande von 20 Mm. stehen, und zwar war dieser Stand nach 30 Secunden schon erreicht. Aus der ersten Beobachtung erhält man $k = 0.32$, die folgenden geben ebenfalls viel grössere Werthe. Die Strömungen sind in der grossen Kugel noch bedeutender und gab sich ihr Einfluss auch durch die hüpfende Bewegung des Quecksilbers im Manometer kund.

Digitized by Google

Die Zahl 0.30 kann also als ein genäherter und zwar wahrscheinlich zu grosser Werth der Grösse k betrachtet werden und ihm entsprechend folgt das Leitungsvermögen der Luft

$$K = 0.000065.$$

Soll das Princip der allseitigen Erwärmung zu genaueren Resultaten führen, so müssen die beiden grossen Uebelstände beseitigt werden, an denen diese Methode leidet, nämlich erstens der Einfluss der Strömungen, und zweitens die grosse Geschwindigkeit, mit der sich der Endzustand, auch abgesehen von den Strömungen, in einer Luftmasse von beschränkten Dimensionen herstellt. Es gelang mir dies mit dem folgenden Apparate.

Ein Cylinder aus dünnem Messing- oder Kupferblech ist als Luftthermometer eingerichtet. Er ist also hermetisch geschlossen, an die obere Platte ist ein kleines Röhrchen aus demselben Metall gelöthet, so dass das Röhrchen in das Innere des Cylinders hineinragt. In dieses Röhrchen ist eine Glasröhre eingekittet, welche als Manometerrohr zu fungiren hat. Das Glasrohr geht luftdicht durch einen Kork, der ebenfalls luftdicht in ein Schüsselchen aus dem gleichen Metall eingepresst ist. Dieses Schüsselchen hat in der Mitte des Bodens eine kreisförmige Oeffnung, durch welche das Glasrohr hindurchgeht, jedoch so, dass es mit dem Metall nicht in Berührung steht. Die Oeffnung hat deshalb einen nahe um 2 Mm. grösseren Durchmesser als das Glasrohr. Diese ganze Vorrichtung steckt nun in einem zweiten Cylinder aus demselben Metall, welcher weiter und höher ist als der erste und zwar derart, dass der innere Abstand der beiden Cylindermäntel ebenso gross ist, als der Abstand der beiden Bodenflächen von einander und als der Abstand der oberen Bodenfläche des inneren Cylinders vom Boden des aufgesteckten Schüsselchens, dessen Boden eben nach Einführung in den weiteren Cylinder als obere Basis diesen Cylinder schliesst.

Das in den inneren Cylinder eingekittete Glasrohr steigt erst vertical auf, ist dann nach abwärts gebogen und mündet in eine kurze mit Quecksilber gefüllte Eprouvette. Um nun vor dem Versuch das Quecksilber auf die gewünschte Höhe im Manometerrohr bringen zu können, ist folgende Einrichtung getroffen. Die Eprouvette ist durch einen Kork geschlossen, der zwei Bohrungen hat, durch die eine geht das Manometerrohr, welches unter Quecksilber, durch die andere ein

Digitized by Google

Glasröhrchen, das nicht ins Quecksilber taucht. Durch dieses Röhrchen kann Luft aus der Eprouvette und somit auch aus dem inneren Cylinder gesaugt und in diesem zur geeigneten Verdünnung gebracht werden. Soll nach dem Versuche das Quecksilber aus dem Manometer wieder entfernt werden, so wird zuerst die Eprouvette weggenommen, entleert, dann wieder auf den Kork aufgesteckt, und kann jetzt das Quecksilber aus dem Manometer wieder mit Hilfe des kleinen Röhrchens herausgesaugt werden.

Der Versuch wird in folgender Weise gemacht. Der Apparat, der durch seine ganze Masse dieselbe Temperatur, die des Zimmers hat, wird in ein mit Schnee und Wasser ausgefülltes Gefäss getaucht. Der äussere Mantel nimmt die Temperatur Null in einer sehr kurzen Zeit an, entzieht der Luft, welche den Zwischenraum ausfüllt, Wärme, diese entzieht wieder Wärme dem inneren Cylinder, dessen Temperatur nun allmälig sinkt, wie das im Manometerrohr aufsteigende Quecksilber zeigt.

Der Nullpunct der am Manometer verschiebbaren Scala wird so gestellt, dass das Quecksilber vor dem Versuche etwa 3 Mm. unter diesem Nullpuncte steht. Die Zeit wird von dem Augenblicke an gezählt, in welchem das Quecksilber den Nullpunct erreicht, und die Secunden, in welchen das Quecksilber um je 5 Mm. höher gekommen ist, notirt. Ebenso wird auch der Stand, welchen das Quecksilber zum Schlusse bleibend beibehält, angemerkt.

Vom inneren gegen den äusseren Cylinder findet eine continuirliche Wärmeströmung statt und die Menge der in einer bestimmten Zeit von innen nach aussen übergeführten Wärme ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen innerem und äusserem Mantel, von der Grösse ihrer Oberflächen, von dem Abstande dieser beiden von einander und von der Grösse des Leitungsvermögens der den Zwischenraum ausfüllenden Substanz, in diesem Falle der Luft.

Ich setze voraus, dass die in einem Zeitelemente dt vom inneren zum äusseren Cylinder übergehende Wärmemenge der Temperaturdifferenz der beiden, welche sie zu dieser Zeit haben, dem arithmetischen Mittel der beiden Oberflächen direct, dem Abstande der beiden Oberflächen verkehrt proportional ist, also ausgedrückt werden kann durch

$$\frac{KF\vartheta dt}{\Delta}.$$

Digitized by Google

Darin bedeutet θ die Temperaturdifferenz der beiden Cylinder, also in unserem Falle, in welchem der äussere Cylinder die Temperatur Null hat, die Temperatur des inneren Cylinders. F stellt das Mittel der beiden Oberflächen, Δ ihre Distanz dar. K ist dann das Leitungsvermögen der den Zwischenraum ausfüllenden Substanz.

Dieser Ausdruck für die in der Zeit dt durchgehende Wärme ist demjenigen nachgebildet, welchen man in der Theorie der Wärmeleitung für den Fall des Durchgangs der Wärme durch einen von zwei parallelen Wänden begrenzten Körper aufstellt, welche Wände fortan bei constanten um θ verschiedenen Temperaturen gehalten werden. Die Vertheilung der Temperaturen innerhalb des Körpers ist nach dem Gesetze der geraden Linie bestimmt, wenn K von der Temperatur selbst unabhängig ist. Derselbe Ausdruck gilt auch für den stationären Uebergang der Wärme von einer isothermen Fläche zu einer sehr nahen andern, wenn die Temperaturen in beiden Flächen constant bleiben. Bei nicht sehr kleiner Distanz ist allerdings für die cylindrischen Theile der Oberfläche ein von den Logarithmen der Radien abhängiger Ausdruck theoretisch richtiger.

In unserem Falle ändert sich aber die Temperatur der einen isothermen Fläche fortwährend. Wenn daher obiger Ausdruck auch für diesen Fall angewendet wird, so ist dabei vorausgesetzt, dass die mit der Aenderung der Temperatur des inneren Cylinders nöthige Aenderung der Vertheilung der Temperatur im Zwischenraum mit ersterer gleichmässig erfolge.

Die in der Zeit dt dem inneren Cylinder entführte Wärmemenge lässt sich aber noch ausdrücken durch

$$-PCd\theta.$$

Darin ist $-d\theta$ die in der Zeit dt erfolgte Temperaturabnahme, C die specifische Wärme, P das Gewicht des Cylinders. Die Wärmemenge, welche die im Cylinder eingeschlossene Luft verliert, kann vernachlässigt werden, ebenso auch die Störung, welche das Glasröhrchen veranlasst. Zur Bestimmung von θ als Function der Zeit haben wir also die Gleichung

$$PCd\theta = -\frac{KF\theta dt}{\Delta} \tag{4}$$

deren Auflösung

$$\theta = \theta_0 e^{-\beta t} \tag{5}$$

Digitized by Google

ist, worin θ_0 den Werth von θ zur Zeit $t = 0$, also die Anfangstemperatur des Cylinders bedeutend, und abkürzend

$$\beta = \frac{KF}{PCA} \tag{6}$$

gesetzt ist.

Zur Prüfung dieser Formel ist es nothwendig, die Temperatur des inneren Cylinders für bestimmte Zeiten zu kennen. Es wird wieder vorausgesetzt, dass die Temperatur des Cylinders der Temperatur der in ihm eingeschlossenen Luft gleich, also durch den Druck dieser Luft bestimmbar sei.

Ist p_0 der Druck zu Beginn der Zeit, p zur Zeit t, und p_1 am Ende des Versuches, nachdem die Luft im inneren Cylinder die Temperatur 0^0 angenommen hat, so ist

$$p_0 = (1 + \alpha\theta_0)p_1,\ p = (1 + \alpha\theta)p_1,$$

woraus

$$\frac{\theta_0}{\theta} = \frac{p_0 - p_1}{p - p_1}$$

sich ergibt. Es ist also

$$\frac{p_0 - p_1}{p - p_1} = e^{\beta t}$$

oder, für die numerische Berechnung eingerichtet,

$$\frac{\log(p_0 - p_1) - \log(p - p_1)}{t} = \beta \log e. \tag{7}$$

Sind die gemachten Voraussetzungen zulässig, so muss sich aus den Versuchen der Quotient auf der ersten Seite dieser Gleichung als constante Zahl ergeben.

Was die Drücke anbetrifft, so können dieselben, da nur ihre Verhältnisse in Betracht kommen, nach beliebigem Maasse gemessen werden. Es ist daher auch nicht nothwendig, die Correction wegen des mit dem Steigen des Quecksilbers im Manometerrohr verbundenen Sinkens des Niveau's im Quecksilberreservoir anzubringen.

Digitized by Google

Ich will nun die Versuche, welche ich mit verschiedenen in der beschriebenen Weise construirten Apparaten ausgeführt habe, der Reihe nach folgen lassen.

I. Versuch.

Apparat aus Kupfer.

Innerer Radius des äusseren Cylinders = 2.089 Cm., Höhe des inneren Cylinders = 6.88 Cm., Abstand der beiden Mantelflächen Δ = 0.2346 Cm., Gewicht des inneren Cylinders = 59.65 Gramm.

Der innere Radius des äusseren Cylinders wurde aus dem Gewichte des Wassers, welches er fasst, bestimmt, ebenso Δ aus dem Gewichte des Wassers, welches der Zwischenraum der beiden Cylinder fasst.

Die Zahlen in der ersten Columne der folgenden Tafel bedeuten die Höhen der Quecksilbersäule im Manometer, ausgedrückt in Millimetern, die Zahlen in der zweiten Columne die Zeiten, in welchen diese Höhen erreicht wurden, in Secunden, die Zahlen in der dritten Columne sind die nach der Formel (7) berechneten Werthe von $\beta \log e$.

h	t	$\beta \log e$
5	27	0.00204
10	58	205
15	94	205
20	137	206
25	192	206
30	263	209
41.8	∞	

II. Versuch.

Apparat derselbe, wie beim ersten Versuche.

h	t	$\beta \log e$
5	29	0.00204
10	62	207
15	101	208
20	147	212
25	210	212
30	304	209
39	∞	

Digitized by Google

III. Versuch.

Apparat derselbe, wie beim ersten und zweiten Versuch.

h	t	$\beta \log e$
5	27	0.00206
10	58	205
15	95	204
20	139	205
25	194	206
30	269	206
41.6	∞	

Die Abweichungen, welche die aus einem und demselben, und die aus den verschiedenen Versuchen abgeleiteten Werthe von $\beta \log e$ zeigen, sind so klein, dass sie durch die Fehler der Zeitbeobachtungen allein schon erklärt werden können. Es kann daher die Anwendbarkeit der obigen Betrachtungen und Rechnungen auf diese Versuche als hinreichend begründet angesehen werden.

Aus diesen Versuchen findet man nun K nach der Formel

$$K = \frac{PC\Delta\beta \log e}{F \log e}.$$

Es ist nun $P = 59.65$; wird die specifische Wärme des Kupfers $C = 0.0935$ genommen, so folgt $PC = 5.577$. Die innere Oberfläche des äusseren Cylinders ist $= 123.9$ Quadratcentimeter, die äussere Oberfläche des inneren Cylinders ist $= 101.8$, also $F = 112.85$ und $F \log e = 49.01$. Führt man noch $\Delta = 0.2346$ ein, so wird

$$K = 0.02732\ \beta \log e.$$

Nimmt man aus den Zahlen des ersten Versuches für $\beta \log e$ das Mittel $= 0.00206$, so folgt

$$K = 0.0000561.$$

Nimmt man aus dem zweiten Versuche $\beta \log e = 0.00208$, so folgt

$$K = 0.0000568.$$

Der dritte Versuch gibt im Mittel $\beta \log e = 0.00205$, also

$$K = 0.0000560.$$

Digitized by Google

IV. Versuch.

Apparat aus Kupfer.

Aeusserer Cylinder derselbe, wie bei den drei ersten Versuchen. Höhe des inneren Cylinders = 6.36 Cm., Abstand der beiden Mantelflächen $\Delta = 0.512$ Cm., Gewicht des inneren Cylinders = 52.6 Gramm.

h	t	$\beta \log e$
5	59	0.00097
10	126	98
15	209	96
20	304	98
25	431	97
30	606	97
40.4	∞	

V. Versuch.

Apparrt derselbe, wie beim vierten Versuch.

h	t	$\beta \log e$
5	64	0.00099
10	140	98
15	232	98
20	348	98
25	504	98
36.8	∞	

Es tritt auch bei diesem zweiten Apparat, in welchem der Abstand der beiden Mantelflächen mehr als doppelt so gross ist als im ersten, die Anwendbarkeit der obigen Formeln in unzweifelhafter Weise hervor.

Da nun $P = 52.6$, so folgt $PC = 4.918$. Die innere Oberfläche des äusseren Cylinders ist jetzt = 124.3, die äussere Oberfläche des inneren Cylinders = 78.65, daher $F = 101.5$ und $F \log e = 44.08$. Ferner ist $\Delta = 0.512$ und ergibt sich

$$K = 0.05711\ \beta \log e.$$

Nimmt man aus dem vierten Versuche $\beta \log e = 0.00097$, so folgt

$$K = 0.0000554.$$

Für $\beta \log e = 0.00098$ nach dem fünften Versuche folgt

$$K = 0.0000560.$$

Digitized by Google

VI. Versuch.

Apparat aus Messing.

Innerer Radius des äusseren Cylinders = 1.939 Cm., Höhe des inneren Cylinders = 6 Cm., Abstand der beiden Mantelflächen Δ = 0.239 Cm., Gewicht des inneren Cylinders = 30.38 Gramm.

Dieser Apparat unterscheidet sich von den zwei vorhergehenden noch dadurch, dass er mit zwei Hähnen versehen ist, von denen der eine im Boden des äusseren Cylinders eingekittet ist, der andere neben dem Manometerrohr durch den Kork hindurchgeht.

h	t	$\beta \log e$
5	16	0.00327
10	34	329
15	55	329
20	81	325
25	113	323
30	155	321
35	214	322
44	∞	

VII. Versuch.

Apparat derselbe, wie beim sechsten Versuch.

h	t	$\beta \log e$
5	21	0.00334
10	47	325
15	79	326
20	122	323
25	185	322
33.5	∞	

Nimmt man die specifische Wärme des Messings = 0.0939, so ist, da $P = 30.38$, $PC = 2.853$. Die innere Oberfläche des äusseren Cylinders ist = 102.5, die äussere des inneren = 82.25, also $F = 92.38$, $F \log e = 40.12$, und da $\Delta = 0.239$, so ergibt sich

$$K = 0.016996\ \beta \log e.$$

Wird aus dem sechsten Versuche $\beta \log e = 0.00325$ genommen, so folgt

$$K = 0.0000552.$$

Digitized by Google

Der siebente Versuch gibt $\beta \log e = 0.00326$, somit

$$K = 0.0000554.$$

VIII. Versuch.

Bei diesem wurde derselbe Apparat benützt, wie bei den zwei vorhergehenden Versuchen. Es wurde jedoch die Luft in dem Zwischenraume zwischen den beiden Cylindern verdünnt. An einem an der Stelle des oberen Hahns angebrachten Manometer wurde der Druck der eingeschlossenen Luft bestimmt. Die Höhe der Quecksilbersäule im Manometer war 320 Mm., der Barometerstand während des Versuches 748, bleibt also für den Druck der eingeschlossenen Luft 428 Mm. oder 0.56 Atmosphäre.

h	t	$\beta \log e$
5	20	0.00325
10	43	329
15	72	325
20	109	323
25	160	322
36	∞	

Für $\beta \log e$ ergeben sich also aus diesem Versuche dieselben Zahlen, wie aus den beiden vorhergehenden Versuchen, bei welchen die leitende Luft unter dem gewöhnlichen Drucke stand. Damit ist zugleich auf das schlagendste bewiesen, dass die Grösse des Wärmeleitungsvermögens der Luft unabhängig ist von ihrer Dichte.

Nimmt man $\beta \log e = 0.00325$, so folgt wieder

$$K = 0.0000552.$$

Die aus diesen acht Versuchen resultirenden Werthe von K sind demnach

$$K = 0.0000561$$
$$568$$
$$560$$
$$554$$
$$560$$
$$552$$
$$554$$
$$552$$

im Mittel $K = 0.0000558$ und

$$k = 0.256.$$

Digitized by Google

Das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers ist in den hier angenommenen Massen nach der Bestimmung von Neumann = 1.108, nach der Bestimmung von Angström = 0.91; es leitet also die Luft nahe 20000mal schlechter als das Kupfer.

Nach Forbes ist das Leitungsvermögen des Eisens bei 25° = 0.1875, das gefundene Leitungsvermögen der Luft also 3360mal kleiner als das des Eisens; Maxwell berechnete es aus seiner Theorie mit Zuhilfenahme seiner, über die innere Reibung der Luft gemachten Versuche als 3500mal kleiner.

Es ist im vorhergehenden vorausgesetzt worden, dass die Wärme von dem inneren Cylinder zum äussern nur durch Leitung gelange, die Strahlung wurde ganz vernachlässigt. Um zu erfahren, wie gross der durch diese Vernachlässigung begangene Fehler sei, machte ich einen Versuch mit dem ersten Apparate in der Abänderung, dass die innere Oberfläche des äusseren Cylinders berusst, die äussere Oberfläche des inneren Cylinders aber mit Tusche bedeckt wurde. Der Versuch lieferte folgende Daten:

h	t	$\beta \log e$
5	26	0.00209
10	55	212
15	88	215
20	129	214
25	180	214
30	249	213
42.2	∞	

Die Werthe von $\beta \log e$, welche dieser Versuch liefert, sind so wenig grösser, als die aus den drei ersten Versuchen gefundenen, dass diese Abweichungen auch durch andere Ursachen, als durch die vermehrte Strahlung bedingt sein können, so durch die in Folge der Bedeckung der Flächen eingetretene Verminderung ihres Abstandes. Es beweist also dieser Versuch, dass die gefundenen Werthe von K wirklich das Leitungsvermögen der Luft für die Wärme darstellen, insofern die Strahlung einen die Grenzen der Beobachtungsfehler kaum übersteigenden Beitrag zu diesen Werthen von K liefert, namentlich bei polirten Oberflächen, wie bei den vorhergehenden Versuchen.

Digitized by Google

Ueber die Nothwendigkeit, den zweiten Satz der mechanischen Wärmetheorie zu popularisiren.

Von

Dr. A. Kurz,

k. Professor.

(Hiezu Tafel XI, Fig. 1 und 2.)

So betitelt Rankine[1]) eine Abhandlung vom Jahre 1867, in welchem auch Clausius seinen eben dahinzielenden Vortrag an der Naturforscherversammlung in Frankfurt gehalten hat.[2])

Ersterer behandelt als Einleitung die Aufgabe: Ein Kilogramm Luft ist in einem Cylinder von 1 □Meter Querschnitt mit 20,000 Kilogrammen belastet; welche Wärmemenge ist nöthig, um bei der Ausdehnung bis auf 10,000 Kilogramme Druckes die Temperatur constant zu erhalten?[3])

Alsdann wird die auch nach Rankine benannte Gleichung namhaft gemacht (nicht abgeleitet), um durch sie zu finden, wie viel bei der Umwandlung von Wasser bei 100° in Dampf von 100° innere Arbeit geleistet wird.[4]) Zum Schlusse heisst es: La règle que je viens

---

1) Annales de Phys. et de Ch. 1867.

2) „Ueber den zweiten Hauptsatz etc.", Vieweg & Sohn.

3) Die Arbeit der Luft $\int p dv$ oder (nach unten angegebenem Gesetze) $\int_{v_1}^{v_2} RT\frac{dv}{v}$ wird RT log nat. $\frac{v_2}{v_1}$, worin v_1 und v_2 das Anfangs- und Endvolum bedeuten; R ist 29, $\frac{v_2}{v_1} = 2$, T ist für den Eispunct 273, so dass bei dieser Temperatur 5538 Meterkilogramme sich ergeben, oder, wenn man mit 424 dividirt, 13,06 Wärmeeinheiten.

Bei der Temperatur von 273° über dem Eispuncte wäre die Wärmemenge doppelt so gross u. s. w.

4) Die Gleichung erlaubt nämlich aus der bekannten äusseren Arbeit auf die gesammte Arbeit zu schliessen; der Rest ist die innere Arbeit. Manchem Leser sind vielleicht die Schriftzeichen bekannt

Digitized by Google

d'énoncer est identique avec la seconde loi; elle reproduit sous une nouvelle forme la loi ....; mais il serait peut-être difficile de démentrer cette identité substantielle par des raisonnements très-simples, et sans recourir à la considération des limites de rapports.

Deshalb wurden auch hier die Differentiale und Differentialquotienten, sowie die Integrale in die Anmerkung verwiesen.

In der citirten Schrift von Clausius wird jede Rechnung vermieden. Dieselbe ist hauptsächlich an die Gelehrten gerichtet, welche weniger mit physicalischen und technischen Kreisen in Berührung kommen; davon zeugt auch der dritte Abschnitt, welcher zu dem bekannten Satze von der Erhaltung der Kraft (Helmholtz) den neuen von Clausius aufgestellten enthält: „Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu." (Diese beiden Sätze stehen einander gegenüber und ergänzen sich, wie der erste und zweite Hauptsatz der Wärmetheorie, welche im ersten und zweiten Abschnitte vorausgeschickt worden).

Hiemit dürfte auch der im Folgenden eingenommene Standpunct genügend angedeutet sein.

Vorausschickungen. Vom ersten Satze der mechanischen Wärmetheorie (Aequivalenz von Wärme und Arbeit) her weiss man, dass 1 Wärmeeinheit gleich 424 Arbeitseinheiten (nach dem metrischen Systeme) ist. Vergl. Anm. 3.

Auch kennt man die Verbindung des Mariotte'schen Gesetzes ($pv = p'v'$) mit dem Zusatze von Gay-Lussac

$$\frac{pv}{1+\alpha t} = \frac{p'v'}{1+\alpha t'} \text{ oder } \frac{pv}{\frac{1}{\alpha}+t} = \frac{p'v'}{\frac{1}{\alpha}+t'} = \text{Constante } R,$$

worin auch statt $\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)$ und $\left(\frac{1}{\alpha}+t'\right)$ die sogenannten absoluten Temperaturen T und T' gesetzt werden, welche von dem um $\frac{1}{\alpha}$ oder 273° Celsius unter dem Eispunct gelegenen Nullpuncte aus zählen. Auch Anm. 3.

$$424 \,.\, dQ = T \,.\, \frac{dp}{dT} \,.\, dv$$

Umgekehrt kann man hier auch aus der latenten Wärme $dQ = 536$ die Volumänderung dv finden.

Digitized by Google

p sei der Druck in Kilogrammen,

v das Volum von 1 Kilogramm atmosphärischer Luft (beide bei der Temperatur T), dieses in Cubikmetern; der Einfachheit wegen die Cylinderform, Querschnitt oder Kolbenfläche 1 □Meter, gewählt, ist alsdann die Variable v die Höhe des Cylinders (Kolbenweg) in Metern.

Nehmen wir zuvörderst p constant an, gleich dem Drucke der äusseren Atmosphäre, so wird v mit T proportional sein; beim absoluten Nullpuncte sind beide Null (der Kolben bewege sich luftdicht, aber ohne Reibung, so dass immer der innere Druck dem äusseren gleich bleibe), und es wurde von diesem Puncte aus die Arbeit geleistet pv. (Ueberwindung des äusseren Druckes p auf die Wegstrecke v.)

Gleichzeitig wurde die Wärmemenge zugeführt 0,237 T, da 0,237 die specifische Wärme der Luft bei constantem Drucke ist.

Der eine Theil dieser Wärmemenge wurde zur Leistung jener Arbeit pv aufgebracht, der andere diente zur Erwärmung der eingeschlossenen Luft von 0 auf T Grade der absoluten Temperatur; beide Theile verhalten sich zu einander sehr nahe wie 2 zu 5. Der zweite Theil ist, pro 1° gerechnet, die specifische Wärme der Luft bei constantem Volum

$$= \frac{5}{7} . 0{,}237 \text{ oder } 0{,}169$$

Man hat also für den ersten Theil nach dem ersten Satze[1])

$$pv = 424 . \frac{2}{7} . 0{,}237\, T = 29\, T$$

Ein anderes Beispiel:

T soll constant bleiben, p und v variabel.

In diesem Falle gilt das reine Mariotte'sche Gesetz (dass die Drucke sich verkehrt verhalten wie die Volume, oder pv constant). Trägt man v als Abscisse und p als Ordinate auf, so erhält man die

---

1) Die Constante $R = 29$ für die atmosphärische Luft wird gewöhnlich dadurch erhalten, dass man $\frac{pv}{T}$ für den Eispunct, also für $T = 273$ berechnet; statt p kommt dann 10334 (Kilogramm pro □Meter), und statt v die Zahl 0,773, da die Luft 773mal dünner als Wasser, und dieses pro Kilogramm 1 Liter oder 0,001 cMeter ausfüllt.

Für andere Gase hat R andere Worte, entsprechend dem v.

Digitized by Google

isothermale Curve oder die Spannungscurve bei gleicher Temperatur, welche als gleichseitige Hyperbel bekannt ist.

Der Flächeninhalt der von einem Curvenstück, seinen beiden Endordinaten und dem Stück der Abscissenaxe begränzten Figur ist die von der Wärme hiebei geleistete Arbeit. In der Figur 1 (Tafel XI) würde derselbe wenig kleiner sein als der Flächeninhalt $\frac{1}{2}(p_1 + p_2)(v_2 - v_1)$ des Trapezes, welches die Sehne statt des Bogens zur oberen Begrenzung hat. Alle Wärme ist bei diesem Processe nach älterer Sprechweise latent geworden.[6])

Denken wir uns diesen Fall einmal umgekehrt: man drückt die Luft zusammen (Aufwand von Arbeit), so aber, dass gleichzeitig die Compressionswärme der inneren Luft durch einen guten Wärmeleiter fort und fort entzogen wird. Dann ist der innere Druck 2, 4, 8mal so gross, wenn die Luft auf $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ des anfänglichen Volums oder also nach einander um die relativen Wegstrecken $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ zusammengepresst wurde. Die in diesen drei Acten aufgewendeten Arbeitsmengen sind relativ $\frac{1}{2}(1+2)\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}(2+4)\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}(4+8)\cdot\frac{1}{8}$, also einander gleich. Sie werden in Wärme verwandelt und als solche in dem genannten Wärmeleiter aufgespeichert. Man begreift hiemit, inwieweit der Satz gilt: Während die Wärmemengen arithmetisch wachsen, nehmen die Volume geometrisch ab.[7])

Als dritter Fall gälte, das Volum constant zu betrachten; bei ihm wird keine Arbeit geleistet, alle aufgewendete Wärme bleibt Wärme; dieser Fall wurde auch schon erwähnt, siehe die specifische Wärme bei constantem Volum.

Statt dessen untersuchen wir noch näher den Fall der adiabatischen Curve, d. h. der Spannungscurve, wenn die Luft in einem

---

6) Ursprünglich wurde dieser Ausdruck namentlich von der Wärme gebraucht, die zur Verdampfung und Schmelzung verbraucht wird. Das ist grösstentheils innere Arbeit, Lockerung des molecularen Zusammenhanges. Vergl. Anm. 4, pag. 161). Im letzten Falle dagegen wurde die Wärme zu äusserer Arbeit verbraucht, nämlich Ueberwindung eines äusseren Druckes auf eine gewisse Wegstrecke.

7) Der allgemeine Beweis liegt in der Formel der Anmerk. 3), aus welcher durch Umkehrung $\frac{v}{v'}$, proportional e hoch Wärmemenge sich ergibt.

Digitized by Google

für die Wärme undurchdringlichen Cylinder dilatirt oder comprimirt wird (siehe den Gegensatz zur isothermalen Curve). Er ist ohne Rechnung einzusehen, da der Druck rascher herabsinkt als bei der isothermalen Curve, beziehungsweise rascher steigt bei sonst gleichen Umständen insbesondere gleicher Volumzunahme oder Abnahme. Die Rechnung ergibt $p^{\frac{5}{7}} . v$ constant, worin $\frac{5}{7}$ der schon oben vorgekommene Bruch ist.[8]) Dies Gesetz wird auch unter dem Namen des erweiterten Mariotte'schen Gesetzes genannt.

Aus zwei isothermalen und zwei adiatabischen Curven können wir nun das Carnot'sche Viereck $ABCD$ in Fig. 2 (Tafel XI) zusammensetzen, dessen vier Seiten mit der Abscissenaxe und den Endordinaten vier Trapeze wie in Figur 1 bilden (wenn diese Erweiterung des Begriffes Trapez zugestanden wird). Das zur isothermalen Curve AB und zur adiabatischen BC gehörige Trapez sind von der Wärme geleistete Arbeiten, von welchen die hernach zur Zusammendrückung der eingeschlossenen Luft auf dem isothermalen Wege CD und auf dem adiabatischen Wege DA verzehrten Arbeiten in Abzug gebracht werden müssen. Der sich ergebende Rest ist offenbar der Flächeninhalt der Figur $ABCD$ selber, er ist die vom ganzen Processe $ABCDA$ gelieferte Arbeit L. Ist T_1 die Temperatur der eingeschlossenen Luft beim Ausgangspuncte A, so bleibt diese constant bis zum Puncte B, hier fängt sie zu sinken an bis zur Temperatur T_2, welche wieder constant verbleibt von C bis D; von D an steigt die Temperatur wieder und zwar bis zur Anfangstemperatur T_1, die in A wieder eintreffen muss, da nur bei gleichem v und T das gleiche p erreicht werden kann. Aus diesem Grunde heisst der ganze Process auch Kreisprocess.

---

8) Für den Leser von Anmerkungen wie 3) und 4) ist diese Rechnung $dQ = \frac{5}{7} . 0{,}237\ dT + \frac{1}{424} pdv = 0$, und aus dem Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac $pdv + vdp = 424 . \frac{2}{7} . 0{,}237 . dT$.

Eliminirt man aus beiden dT oder gleich $\frac{1}{7}\ 0{,}237\ dT_1$, so kommt

$$7pdv + 5vdp = 0 \quad \text{oder} \quad \frac{dv}{v} = -\frac{5}{7}\frac{dp}{p}, \text{ woraus}$$

$$\log \text{nat} \frac{v}{v_0} = \log \text{nat} \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{5}{7}} \quad \text{oder} \quad \frac{v}{v_0} = \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{5}{7}}.$$

Digitized by Google

Auf dem Wege AB wird eine Wärmemenge Q_1 zugeführt, und auf dem Wege CD wiederum eine Wärmemenge Q_2 aus der eingeschlossenen Luft gewonnen, so dass die aufgewendete Wärmemenge $(Q_1 - Q_2)$ resultirt, welche in die obige Arbeit L verwandelt worden, d. h.:

$$L = 424\ (Q_1 - Q_2) \ldots\ldots (1)$$

Dieser Kreisprocess lässt sich bei seiner idealen Natur, welcher Wärmeverluste nach der Umgebung, Reibungsverluste, Stösse[9] u. s. w. fremd sind, gerade so gut auch umgekehrt denken, wobei dann Arbeit L in Wärme $(Q_1 - Q_2)$ verwandelt würde. Umkehrbarer Kreisprocess.

Der zweite Satz spricht noch eine zweite Gesetzmässigkeit hinsichtlich der im vorigen Kreisprocesse vorgekommenen Grössen aus, nämlich

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \ldots\ldots (2),$$

die wir nun nachzuweisen versuchen.

1) Ein Quantum Gases werde isothermisch, bei der constanten Temperatur T_1, erhitzt, so dass das Verhältniss des End- und Anfangsvolums $\frac{v_2}{v_1}$ sei: dann ist die geleistete Arbeit, sowie die aufgewendete Wärmemenge proportional T_1, also dass bei der constanten Temperatur T_2, aber gleichem Verhältniss $\frac{v_2}{v_1}$ eine andere Wärmemenge verbraucht würde, die sich zur ersteren verhält wie T_2 zu T_1.

Der Beweis davon ist wohl in Anmerkung 3) enthalten; aber wir können uns ohne diese der Figur 1 bedienen, zunächst unter der Beschränkung auf einen kleinen Kolbenweg, resp. wenn $\frac{v_2}{v_1}$ wenig grösser als 1 ist, unter welcher das krummlinige Trapez vom geradlinigen (wirklichen) Trapeze nicht mehr zu unterscheiden ist; und die auch dort angegebene Arbeit ist:

$$\frac{1}{2}(p_1 + p_2)(v_2 - v_1) \text{ oder } \frac{1}{2} p_1 v_1 \left(1 + \frac{p_2}{p_1}\right)\left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right)$$

---

9) Die Stösse könnte man hier in mechanische und thermische unterscheiden; solche sind, wenn der innere Druck einem merklich kleineren Aussendruck, und wenn die innere Temperatur einer merklich verschiedenen Aussentemperatur begegnen würden.

Digitized by Google

oder $\frac{1}{2}RT\left(1+\frac{v_1}{v_2}\right)\left(\frac{v_2}{v_1}-1\right)$ oder $\frac{1}{2}RT\left(\frac{v_2}{v_1}-\frac{v_1}{v_2}\right)$, worin

für T beziehungsweise T_1 und T_2 zu setzen ist.

Und bei grösserem Kolbenweg, resp. wenn $\frac{v_2}{v_1}$ nicht mehr nahe 1 liegt, denke man sich das Intervall in genügend kleine Theile getheilt; in der Summe der Arbeiten wird dann der gemeinsame Factor T wie vorhin auftreten.[10])

2) Wir können nun beweisen, dass in obigem Vierecke die beiden isothermen Curven AB und CD durch je zwei Endordinaten begrenzt sind, welche gleichem Volumverhältnisse entsprechen:

Zu diesem Zwecke bezeichnen wir Druck und Volum des Gases in den vier Ecken $ABCD$ mit entsprechendem Index, und die Temperaturen wie oben mit T_1 und T_2, dann ist für die

Isothermische Linie AB	$p_a v_a$	$= RT_1$
	$p_b \,.\, v_b$	$= RT_1$
Adiabatische Linie BC	$p_b^{\frac{5}{7}} \,.\, v_b$	$= p_c^{\frac{5}{7}} \,.\, v_c$
Isothermische Linie CD	$p_c v_c$	$= RT_2$
	$p_d v_d$	$= RT_2$
Adiabatische Linie DA	$p_d^{\frac{5}{7}} \,.\, v_d$	$= p_a^{\frac{5}{7}} \,.\, v_a$

Aus der fünften und sechsten dieser Gleichungen erhält man durch Elimination von p_d

---

10) Würde z. B. $\frac{v_2}{v_1} = \frac{3}{2}$ sein, so könnte man in 100 Intervalle theilen, für deren jedes das Verhältniss $\sqrt[100]{\frac{3}{2}} = 1{,}004$ wäre. Man erhielte dann mit Weglassung von RT als Summe der 100 gleichen Arbeiten die Zahl 0,406.

Dieselbe Zahl ergibt auch log nat. $\frac{3}{2}$ aus Anm. 3).

Auch sei gelegentlich erwähnt, dass log nat. $\frac{v_2}{v_1}$, wenn $\frac{v_2}{v_1}$ wenig grösser als 1, nahezu $\left(\frac{v_2}{v_1}-1\right)$ ist. Dasselbe kommt auch nahe aus obigem $\frac{1}{2}\left(\frac{v_2}{v_1}-\frac{v_1}{v_2}\right)$, indem man setzt $\frac{1}{2}\left(\frac{v_2}{v_1}-\frac{1}{1+\left(\frac{v_2}{v_1}-1\right)}\right)$, und die geometrische Reihe benützt.

Digitized by Google

$$v_d = \frac{p_a^{\frac{5}{7}} \cdot v_a^{\frac{7}{7}}}{R^{\frac{5}{7}} \cdot T_2^{\frac{5}{7}}};$$

aus der dritten und vierten durch Elimination von p_c

$$v_c = \frac{p_b^{\frac{5}{7}} \cdot v_b^{\frac{7}{7}}}{R^{\frac{5}{7}} \cdot T_2^{\frac{5}{7}}};$$

durch Division dieser beiden Ausdrücke und endlich mit Benutzung der ersten und zweiten Gleichung ergibt sich wirklich

$$v_c : v_d = v_b : v_a$$

Weil nun diese beiden Volumverhältnisse einander gleich sind, verhalten sich nach dem ersten Untersatze die beiden in den isothermischen Processen geleisteten Arbeiten oder entsprechenden Wärmemengen wie die bezüglichen constanten Temperaturen T_1 und T_2.

Der zweite Satz der Wärmetheorie ist also für Gase und in dem Falle obigen Kreisprocesses bewiesen.

Zur geometrischen Versinnlichung wurden in Figur 2 die gleichen Volumverhältnisse $\frac{30}{20}$ und $\frac{24}{16}$ gewählt; die äussere Hyperbel ist dieselbe wie diejenige in Figur 1; auch wurden die zwei entsprechenden Arbeiten wieder unter der Annäherung geradliniger Trapeze in das Verhältniss $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{480}{300}$ (207° und 27° Celsius) gesetzt, indem nämlich die Mittellinien der beiden Trapeze vom Verhältnisse 2 : 1 gewählt wurden, also

$$\frac{1}{2}(p_a + p_b)\, 8 : \frac{1}{2}(p_c + p_d) \cdot 10 = 8 : 5 = 480 : 300$$

Die beiden adiabatischen Curven wurden aus freier Hand ergänzt;[11]) die beiden entsprechenden Arbeiten (Trapeze) müssen gleich gross ausfallen, wie sich aus der Betrachtung der fünf durch die vier Curven und ihre Endordinaten gebildeten Figuren ergibt.

---

11) Wollte man Alles berechnen resp. construiren, so dient der in den Grössen p_a v_a T_1 gegebene Anfangszustand des Gases zur Berechnung von R; aus dem gegebenen Q_1 berechnet sich dann nach dem ersten Untersatze $v_b : v_a$, also auch v_b; dann muss Q_2 gegeben sein nach dem ersten Satze der Wärmetheorie oder Gleichung (1); mit ihm folgt aus dem zweiten Satze oder Gleichung (2) T_2 und alsdann dienen die vier letzten der sechs vorigen Gleichungen zur Bestimmung von p_c v_c p_d v_d.

Digitized by Google

Bisher hat sich der zweite Satz nur als eine Folgerung ergeben aus dem Mariotte'schen Gesetze (im weitesten Sinne dieses Namens), freilich eine bequeme, zur Anwendung als Princip sich empfehlende Folgerung, wie in der Anmerkung 10 gezeigt wurde.

Soll aber der zweite Satz ein Princip im strengen Sinne des Wortes sein, so muss er sich als giltig erweisen für alle Körper und in allen Fällen, für welche auch das Mariotte'sche Gesetz nicht giltig ist (mag das stellvertretende Gesetz sein, welches es wolle, uns bekannt oder nicht).

Um dies zu zeigen, dient das Axiom von Clausius, dass Wärme wohl von selbst überzugehen pflegt von einem wärmeren zu einem kälteren Körper; aber nicht umgekehrt. Ebenso lässt sich auch Arbeit direct in Wärme verwandeln (wie im Compressionsfeuerzeug); aber z. B. im obigen Kreisprocesse, wenn er umgekehrt stattfindend gedacht wird, geht die Wärmemenge Q_2 indirect vom kälteren Körper zum wärmeren der zwei Körper (mit welchen das Gas in Berührung kommen muss) nicht über, ohne dass gleichzeitig Arbeit in Wärme verwandelt wird, L in $(Q_1 - Q_2)$.[12])

Alsdann brauchen wir das Carnot'sche Theorem,[13]) dass wenn zwei beliebige Körper (A) und (A') obigen Kreisprocess durchmachen zwischen denselben Temperaturen T_1 und T_2, wobei bezüglich die Wärmemengen Q_1 und Q_2 sowie Q_1' und Q_2' mit der oberen und unteren Wärmequelle ausgetauscht werden,

$$Q_1 : Q_2 = Q_1' : Q_2' = \text{constant ist.}$$

oder also auch

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1' - Q_2'} = \frac{Q_1}{Q_1'}$$

Beweis: Sei $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1' - Q_2'} = \frac{m}{n}$, worin m und n ganze Zahlen,

oder

$$\frac{Q_1}{Q_1'} < \frac{m}{n} \text{ (oder } m Q_1' - n Q_1 > 0)$$

---

12) Clausius hat obige zwei direct möglichen Verwandlungen positive, die entgegengesetzten negative genannt; bei der Dampfmaschine verwandelt sich Wärme in Arbeit nicht, ohne dass Wärme von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergeht. Positive Verwandlungen können „uncompensirt" stattfinden, negative müssen durch positive „compensirt" werden.

13) Ich benützte hier auch Ch. Briot, Lehrbuch der mech. Wärmetheorie, Deutsch von H. Weber, Leipzig, Noss, 1871. § 63.

Digitized by Google

denkt man hierauf einen complicirten Process, in welchem nämlich A $n$mal den Kreisprocess (A) und A' $m$mal denjenigen (A'), aber diesen im umgekehrten Sinne durchmachen müsse; so hat man nach Gleichung (1)

$$\text{Arbeit} = 424 \,.\, n\,(Q_1 - Q_2) - 424 \,.\, m\,(Q_1' - Q_2') = 0, \text{ ex dato};$$

und bezüglich des Wärmeaustausches hat

die obere Quelle

$n\,Q_1$ an A abgegeben und $m\,Q_1'$ von A' empfangen, also empfangen $(m\,Q_1' - n\,Q_1)$,

die untere Quelle

$n\,Q_2$ von A empfangen und $m\,Q_2'$ an A' abgegeben, also abgegeben $(m\,Q_2' - n\,Q_2)$.

Nach der Voraussetzung ist nun $(mQ_1' - nQ_1)$ positiv, und auch gleich $(mQ_2' - nQ_2)$, wie aus der Gleichung mit $\frac{m}{n}$ leicht abgeleitet wird.

Es würde hiemit diese Wärmemenge von der unteren Quelle an die obere Quelle gegangen sein, ohne Leistung einer Arbeit, was unmöglich (siehe Anm. 11).

Ebenso wenig kann $\frac{Q_1}{Q_1'} > \frac{m}{n}$ sein, wie man ebenso zeigt, indem man A $n$mal den Kreisprocess (A) in umgekehrtem Sinne, und A' $m$mal den Kreisprocess in directem Sinne durchlaufen liesse.

Also muss $$\frac{Q_1}{Q_1'} = \frac{m}{n} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1' - Q_2'} = \frac{Q_2}{Q_2'}$$

Mit dem soeben bewiesenen Carnot'schen Theorem $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Q_1'}{Q_2'}$ haben wir die in der Gasnatur liegende Beschränkung aufgegeben; nur für diese wurde die Gleichung (2) oder $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ bewiesen; A kann aber ein Gas, A' ein anderer Körper sein, für den das Mariotte'sche Gesetz nicht gilt; dann folgt aus beiden Gleichungen, dass auch für die anderen Körper die Gleichung (2) gilt:

$$\frac{Q_1'}{T_1} = \frac{Q_2'}{T_2}$$

Zur Ausdehnung des zweiten Satzes auf alle beliebigen umkehrbaren Kreisprocesse (Sechseck, Achteck, ...) schreibt man die Gleichung (2)

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0,$$

Digitized by Google

worin also die vom Körper empfangene und die von ihm abgegebene Wärmemenge mit entgegengesetzten Vorzeichen auftreten. Allgemeiner: $\Sigma \frac{Q}{T} = 0$ oder die Summen aller der Quotienten der Wärmemengen und ihrer Uebergangstemperaturen ist beim umkehrbaren Kreisprocesse Null.[14])

Kurze Anwendung und Schluss. Verbindet man die Gleichungen (1) und (2) durch Elimination von Q_2, so erhält man

$$L = 424\ Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} \ldots\ldots (3)$$

d. h. die dort geleistete Arbeit ist proportional dem Verhältnisse $\frac{Q_1}{T_1}$ und der Temperaturdifferenz $(T_1 - T_2)$. Auch erscheint der Bruch $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ als das Verhältniss $\frac{L}{424\ Q_1}$ der wirklich gewonnenen Arbeit zur ganzen Arbeit $424\ Q_1$, deren die von der oberen Quelle geschöpfte Wärmemenge Q_1 theoretisch fähig wäre. Diese beiden Arbeiten würden nur gleich sein, wenn $T_2 = 0$, oder wenn an die untere Quelle die Wärmemenge $Q_2 = 0$ abgegeben würde. Bei einer Dampfmaschine dagegen, wenn im Kessel 120° Celsius oder $T_1 = 393$, und im Condensator 40° Celsius oder $T_2 = 313$ ist, wäre die theoretische Grenze der günstigsten Ausnützung der Wärme $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ nahe $\frac{1}{5}$. Soviel die Praxis dahinter zurückbleibt, unterscheidet sich dieser wirkliche Process von dem obigen Ideale des umkehrbaren Kreisprocesses.

In solchem practischen Falle ist die zur untern Quelle abgegebene Wärmemenge grösser als obige Q_2, oder wenn diese Bezeichnung im neuen Falle beibehalten wird, so ist $\frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2}$, oder $\Sigma \frac{Q}{T} < 0$, welch letzteres noch als eine Erweiterung des zweiten Satzes für die nicht umkehrbaren Kreisprocesse nachgetragen werde.

In einer „kritischen Darlegung des zweiten Satzes" kommt Wand[15]) zu den Schlüssen: 1) „Der zweite Satz, d. i. der Satz, dass kein auf-

14) Sind die einzelnen isothermen Seiten des Polygons sehr klein, so kommt $\int \frac{dQ}{T} = 0$

15) Carl's „Repertorium für Experimentalphysik etc.", Band IV, 1868 Seite 281 und 369. Berichtigungen hiezu in Band V Seite 63.

Digitized by Google

steigender Wärmeübergang ohne Verrichtung von Arbeit oder ohne einen absteigenden Wärmeübergang möglich sei, ist falsch.“ 2) „Die aus diesem Satze gezogenen Folgerungen sind nur angenäherte empirische Wahrheiten, welche nur insoweit Geltung beanspruchen können, als sie durch Versuche bestätigt werden.“ 3) „Für Berechnungen zu technischen Zwecken kann man den zweiten Satz als richtig ansehen etc.“

Hiezu wird man nach obiger Darlegung sagen: Zu 1) und 3) der Satz von Clausius, durch welchen das Carnot'sche Theorem bewiesen, und der zweite Satz der mechanischen Wärmetheorie von der einschränkenden Voraussetzung des Mariotte'schen Gesetzes befreit wurde, hat sich bisher bewährt. Zu 2) Gewiss muss man, wo nur immer möglich, die theoretischen Folgerungen mit der Praxis vergleichen (durch die Empirie prüfen).

Am besten ist es bestellt, wo Theorie und Praxis Hand in Hand gehen; der schönste Wettlauf ist es, wenn die eine die andere, welche zeitweise vorausgeeilt, rasch einholt. Vieles ist dazu noch in der Anwendung und Erkenntniss der Wärme wie auch in andern Gebieten der Physik und Technik zu wünschen.

Digitized by Google

Ueber ein von Dr. Adolph Steinheil neuerlich construirtes Objectiv, und über die dabei benützten Rechnungsvorschriften.

Von

L. Seidel.

(Sitzungsberichte der Bayerischen Academie 1872 Heft 1.)

Seit Kurzem hat Dr. Adolph Steinheil die Berechnung eines Objectives vollendet, welches zunächst bestimmt ist, zur Photographie astronomischer Objecte zu dienen, und von dem man hoffen darf, dass es bald auf diesem Felde nützliche Anwendnng finden wird. Dasselbe ist auch bereits in einem Exemplar von 48 par. Linien Oeffnung und von 876,44 Linien Brennweite bei 38 Lin. ganzer Dicke in dem Institute ausgeführt, welches, von unserem verstorbenen Collegen in's Leben gerufen, von seinen beiden Söhnen in so würdiger Weise fortgesetzt wird. Dr. Adolph Steinheil, welcher vorzugsweise die rechnerischen Arbeiten unter sich hat, ist gegenwärtig beschäftigt, noch die Linsencombination zu construiren, durch welche eine zweite und vergrösserte Abbildung von dem durch das Objectiv erzeugten Bilde hervorgerufen werden soll. Dieser zweite Bestandtheil wird mit dem ersten zusammen Ein grosses möglichst sorgfältig abgeglichenes Ganzes ausmachen. Die Rechnungen, welche über die Leistung des bereits vollendeten Objectivs ausgeführt worden sind, haben mir zur Einsicht vorgelegen; in den Händen der Astronomen befindet sich noch kein dioptrischer Apparat, dessen Wirkung nach der Theorie mit gleicher Vollständigkeit studirt wäre.

Das Fernrohr-Objectiv hat bekanntlich durch Fraunhofer eine Vortrefflichkeit erhalten, über welche hinauszugehen ausserordentlich schwer ist, und die wir zum grossen Theile erst in neuester Zeit, nach Ausführung mancher theoretischen Arbeit, zu würdigen gelernt haben. Eine kurze Zusammenstellung der dasselbe auszeichnenden Eigenschaften hat Dr. Ad. Steinheil selbst in einem Aufsatze gegeben,

Digitized by Google

den ich am 6. Juli 1867 der Classe vorzulegen die Ehre hatte[1]) und welcher Resultate von Herschel, Biot und von mir mit denjenigen des Verfassers verbindet. Die Zahl jener Vorzüge ist so gross, dass es unmöglich wäre, mit der geringen Anzahl disponibler Grösse sie alle anzustreben, stünden sie nicht mehrfach in einem allerdings erst nach genauer theoretischer Untersuchung erkennbaren Zusammenhang. Vielleicht können Glasarten gefunden werden, die sich noch glücklicher combiniren lassen, als die dem Meister zu Gebote standen; vielleicht kann eine spätere Technik der mathematischen Kugelfläche noch näher kommen, als selbst die seine; ihrem Gedanken nach aber trägt jene Construction geradezu das Siegel der Vollendung, und um mehr zu erreichen muss man mehr als die zwei Linsen in Anspruch nehmen. Dr. Steinheil ging darauf aus, einerseits das secundäre Spectrum durch die Auswahl geeigneter Glasarten noch weniger störend zu machen, andererseits gleichmässige Präcision der Abbildung des Gesichtsfeldes in einer Ebene auch für die äusseren Theile desselben zu erreichen, und zwar mit der Forderung, dass das Bild eines seitwärts von der verlängerten optischen Axe stehenden Sternes nicht blos in derjenigen seiner Dimensionen möglichst verkleinert würde, welche auf die Mitte des Gesichtsfeldes hinweist, sondern auch in der darauf senkrechten, deren Untersuchung viel grössere Schwierigkeit darbietet, da für sie die Betrachtung von den zwei Dimensionen einer durch die Axe gelegten Ebene erweitert werden muss auf die drei Dimensionen des Raumes. Die Mühe dieser ausgedehnten Arbeit ist allerdings von dem genannten Rechner, dem Ersten, der sie nicht gescheut hat, schon seit Jahren im Interesse der Vervollkommnung der optischen Apparate des Institutes vielfach aufgewendet worden. Weniger wichtig als die Präcision des Bildes ist seine genaue perspectivische Richtigkeit, denn wenn nur die erstere vorhanden ist, so wird man den Einfluss von Mängeln der letzteren berechnen und hiernach die Messungen reduciren können: als eine wünschenswerthe Zugabe erscheint aber allerdings auch möglichste Beseitigung der Verzerrung im Bilde. Da nun zur Erfüllung dieser verschiedenen Ansprüche ein Mehraufwand von Mitteln, gegenüber dem Fraunhofer'schen Fernrohrobjective, erfordert wird, so wählte Dr. Steinheil die Combination von vier Linsen, von welchen je

1) Cfr. Repertorium III, p. 431.

Digitized by Google

zwei, aus verschiedenem Glase, genau ineinanderpassen und verkittet sind, so dass der Lichtverlust durch Spiegelung wesentlich nur derselbe ist, wie an den vier Flächen eines gewöhnlichen Objectivos. Ferner versuchte er zunächst, und zwar mit Erfolg, die symmetrische Anordnung aller Flächen um die Mitte des ganzen Objectives (welches sonach aus zwei einander congruenten Linsenpaaren besteht) festzuhalten; eine Anordnung, welche bekanntlich bei verschiedenen Constructionen seines Institutes getroffen worden ist. Es wäre wohl möglich, dass einzelne der Sache ferne Stehende bei der Wahrnehmung dieser Symmetrie auf den Gedanken gekommen wären, dass hier nicht theoretische Erwägung maassgebend gewesen sein möchte, sondern dass eben vorhandene Stücke empirisch zusammen probirt, und da dem Optiker ihre Wirkung befriedigend schien, wirklich verbunden worden wären. In Wirklichkeit haben aber sehr rationelle Gründe diese Wahl bestimmt, welche geeignet ist, in verwickelteren Fällen die Erfüllung eines Theiles der zahlreichen dioptrischen Bedingungen, denen der Apparat als ein Ganzes genügen muss, für den Rechner ungemein zu erleichtern. Dieser Punct ist einer kurzen Erörterung werth. Denkt man sich, ein optischer Apparat sei etwa für den der optischen Axe parallel auffallenden Strahlenbüschel frei von Farbenzerstreuung und von Kugelabweichung, diese Ausdrücke in ihrem alten und gewöhnlichen Sinne genommen, so heisst dies bekanntlich, dass die einzelnen Strahlen jenes Büschels, welche entweder durch ihre Farbe oder durch ihren Auffallsort innerhalb der Oeffnung der ersten Fläche sich von dem Axenstrahl mittlerer Brechbarkeit unterscheiden, nach erlittenen Brechungen die Axe in dem nämlichen Punct (dem zweiten Brennpunct des Apparates) durchkreuzen. Die nothwendige Folge davon ist, dass auch die Strahlen, welche vom 2. Brennpuncte her in umgekehrter Richtung auf den Apparat gelangen, richtig der Axe parallel aus der vordersten Fläche hervorgehen. Ist nun der Apparat in Bezug auf die vordere und hintere Seite ganz symmetrisch, so müssen in Folge dessen auch die Strahlen, welche vom ersten Brennpunct (und wieder in der ursprünglichen Richtung) auf ihn gelangen, richtig der Axe parallel austreten, d. h. unser Apparat wird die Eigenschaft, achromatisch und frei von Kugelabweichung zu sein, nicht blos für ein unendlich entferntes Object besitzen, sondern in Folge seiner Symmetrie von selbst auch für ein nahes (im ersten Brennpunct befindliches) Object; — natürlich dann auch für zwischen-

Digitized by Google

liegende Objecte mit weit grösserer Annäherung, als dies sonst der Fall ist. Dieser Vortheil ist aber noch besonders desshalb von hohem Werthe, weil die Bedingung, dass die Achromasie (im gewöhnlichen Sinne des Wortes) möglichst unabhängig von der Entfernung des Objectes sei, zusammenfällt mit der Gauss'schen Forderung, dass das (etwa unendlich ferne) Object von den verschiedenfarbigen Strahlen nicht blos an derselben Stelle, sondern auch gleich gross abgebildet werde, und weil ebenso die (Herschel'sche) Anforderung, die Kugelabweichung für nah und fern aufzuheben, im engsten Zusammenhang steht mit derjenigen Bedingung, welche ich die Fraunhofer'sche nenne, und nach welcher neben der Mitte des Gesichtsfelds auch die nächst umgebenden Theile desselben in der Abbildung möglichst frei sind von den unter die Rubrik der sphärischen Abweichung fallenden Fehlern. Für die ersteren beiden Bedingungen habe ich diesen Zusammenhang in Nr. 871, für die letzteren in Nr. 1029 der Astron. Nachrichten bewiesen. Es muss daher als ein überaus glücklicher Gedanke A. Steinheil's betrachtet werden, durch die Wahl der symmetrischen Anordnung, durch welche freilich die Anzahl disponibler Grössen fast auf die Hälfte vermindert wird, die Erfüllung einer ganzen Gruppe wichtiger und verwickelter Bedingungen sogleich vorzubereiten, und damit auch der Rechnung, die ausserdem Gefahr läuft sich in's Unabsehbare zu verwirren, eine bestimmte Richtung (zunächst auf die Erfüllung der übrigen Bedingungen) zu geben; denn alle die 11 Unbekannten, welche ein nicht symmetrisches System von zwei Paaren ineinandergepasster Linsen involvirt, selbstständig zur Erreichung des höchsten möglichen Effectes auszunützen, scheint bei der ungeheuren Complication der Bedingungen ein für jetzt unerreichbares Ziel. Noch immer blieben nach Feststellung der Symmetrie sechs Stücke zur Verfügung (drei Krümmungsradien und zwei Glasdicken an einer der Doppellinsen, nebst der Distanz beider Paare von einander), dieselbe Anzahl wie bei dem Fraunhofer'schen Objectiv, das vier Krümmungsradien und zwei Glasdicken aufweist; übrigens hat Steinheil auch noch unter den zahlreichen ihm zu Gebote stehenden Schmelzen verschiedener Glasfabriken die Auswahl mit benützt für den besonderen Zweck.

Gemäss der besonderen Bestimmung des Apparates sind bei seiner Berechnung vor allem die chemisch wirksamen Lichtstrahlen berücksichtigt worden; die zu Grunde gelegten Brechungsverhältnisse beziehen

Digitized by Google

sich auf einen Strahl zwischen Fraunhofer's Linien G und H, es ist aber, wie man aus dem Folgenden ersehen wird, auch eine sehr vollständige Vereinigung mit den Strahlen im hellsten Theile des Spectrums (in der Rechnung Mitte zwischen D und E) erzielt worden.

Wenn man auf ein dioptrisches System Strahlencylinder von gegebener Umgrenzung und von vorgeschriebener Neigung gegen die Axe nach und nach an verschiedenen Stellen der Oeffnungsfläche auffallen lässt, z. B. zuerst so, dass die Axe des Lichtcylinders auf dieser Fläche die optische Axe schneidet, dann aber auch in verschiedener Weise excentrisch gegen letztere, so werden die Fehler in der Vereinigung der verschiedenen Strahlen dieses Büschels (nach erlittenen Brechungen) nach und nach verschiedene Grösse annehmen bei den Verschiebungen des Lichtcylinders. Z. B. kann es sich begeben, wenn die Axe des Apparates horizontal liegt, dass ein etwas von oben her geneigt auffallender Lichtbüschel besser vereinigt wird, wenn seine Axe etwas oberhalb der optischen excentrisch auf die erste brechende Fläche trifft, als wenn sie in der Mitte auffällt. Dieser Umstand, auf den man bei der Construction von Photographen-Objectiven schon lange aufmerksam gewesen ist, bewirkt also, dass es vortheilhaft sein kann, für Strahlenbüschel, die von verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld herkommen, verschiedene oder wenigstens sich nicht völlig deckende Theile der Oeffnung zur Wirkung kommen zu lassen, was durch ein an geeigneter Stelle angebrachtes Diaphragma bewirkt wird. Der von uns besprochene Apparat hat ein solches in seiner Mitte erhalten: durch dasselbe wird für jeden Lichtbüschel die ganze Oeffnung der vordersten Fläche reducirt auf einen kreisförmig begrenzten aber nach Umständen excentrisch gelegenen Theil, dessen Durchmesser noch $1/20$ der Brennweite, d. i. 43,822 Linien anstatt 48 beträgt.

Ich theile nachstehend aus Dr. Steinheil's Rechnungen einige Zahlen mit, welche zur Beurtheilung der durch die Rechnung erlangten Genauigkeit in der optischen Leistung des Apparates dienen können. Sie beziehen sich auf drei verschiedene auf den Apparat fallende Lichtbüschel, welche sämmtlich von unendlich entfernten Puncten herkommen, und zwar der erste der Axe parallel, der zweite unter 17′ 23″.51 und der dritte unter 34′47″.01 gegen dieselbe geneigt. Für den ersten werden Zahlen aufgeführt, die sich auf Licht von zweierlei Farben (hier kurz „violet“ und „gelb“ genannt) gemäss obiger Angabe beziehen: in den beiden andern Büscheln gelten die Angaben

Digitized by Google

für „violet". „Hauptstrahl" heisst gemäss der angenommenen Bedeutung dieses Wortes in jedem der beiden letzteren Lichtbüschel derjenige Strahl, welcher auf den ersten Hauptpunct des Apparates gerichtet ist, und der hier vermöge der symmetrischen Anordnung, nachdem er die drei ersten Brechungen erlitten, genau durch die Mitte des ganzen Objectives geht. „Randstrahlen" sind solche genannt, welche der Umhüllung des von der Diaphragmen-Oeffnung durchgelassenen Lichtcylinders angehören, welcher Cylinder zu seiner Axe den Hauptstrahl hat, da dieser mitten durch das Diaphragma passirt; unter ihnen sind der „obere" und „untere" Randstrahl (so benannt nach der obigen Vorstellung, dass der Lichtbüschel von Oben her geneigt kommt) selbst in der durch Axe und Hauptstrahl gelegten Ebene enthalten, die beiden seitlichen dagegen (der „rechte" und der „linke") in einer durch den Hauptstrahl senkrecht auf ersterer Ebene gelegten zweiten. Als „$^2/_3$ Strahlen" sind solche kurzweg bezeichnet, welche, im übrigen den vier Randstrahlen völlig analog, nur $^2/_3$ so weit als diese von dem Hauptstrahl des Lichtbüschels, dem sie zugehören, entfernt sind.

Diejenige Ebene, in welcher das erzeugte Bild möglichst genau erscheint, und welche um 861,765 Linien von der letzten brechenden Fläche entfernt ist (Ebene des 2. Brennpuncts) müsste von den verschiedenen Strahlen je Eines Büschels in Ein und demselben Punct durchdrungen werden, wenn keine optischen Fehler übrig blieben; die Differenzen, welche in dieser Beziehung wirklich stattfinden, ergibt die nachfolgende Uebersicht:

I. Büschel parallel der Axe.

Die Durchschnittspuncte der verschiedenen Strahlen mit der Bildebene sollten hier den Abstand 0 von der optischen Axe haben; in Wirklichkeit finden Abweichungen statt, bei welchen hier + bedeutet, dass der Strahl zu hoch durch die Bildebene durchgeht:

			Linien.
	viol.	Axenstrahl . . .	0
	gelber	„ „ . . .	0
oberer	viol.	$^2/_3$ Strahl . . .	— 0,0021
„	gelber	„ „ . . .	+ 0,0080
„	viol.	Randstrahl . . .	+ 0,0021
„	gelber	„ „ . . .	— 0,0084

Digitized by Google

Die untern Strahlen haben natürlich Abweichungen, welche denen der oberen entgegengesetzt sind. Das violete Bild des unendlich fernen Punctes in der Axe hat hienach einen Durchmesser von 0,0042, das gelbe einen solchen von 0,0168 Linien; man sieht an diesem Beispiele, was wohl auch sonst bekannt genug ist; dass die von Farbenzerstreuung herrührenden Fehler im Bilde geometrisch bei weitem die grössten bleiben, sogar dann, wenn die gewählten Glasarten sich nur so wenig von einander unterscheiden, wie die beiden Flintglasarten, aus welchen allein Steinheil sein Objectiv construirt hat, und deren Zerstreuungsverhältniss $\frac{dn'}{dn}$ nur den Werth hat 1,1632. — Durch Division der gefundenen Durchmesser mit der Brennweite erhält man den angulären Werth der ersteren, welcher 1,99 Secunden für das violete und 7″,96 für das gelbe Bild entspricht.[1]).

II. Büschel, von oben her gegen die Axe geneigt um 17′ 23″,51.

In der ersten Zahlencolumne ist angesetzt die verticale Coordinate des Durchschnittspunctes zwischen gebrochenem Strahl und Bildebene, positiv gegen oben gezählt, in der zweiten die horizontale, positiv gegen rechts, beide natürlich von der Mitte des ganzen Bildes, d. h. vom 2. Brennpunct des Systemes aus zählend.

	Linien	Linien
Hauptstrahl	— 4,4341	0
Oberer 2/3 Strahl . .	4,4331	0
Rechter „ „ . .	4,4345	— 0,00180
Unterer „ „ . .	4,4374	0
Linker „ „ . .	4,4345	+ 0,00180
Oberer Randstrahl . .	4,4387	0
Rechter „ „ . .	4,4350	+ 0,00253
Unterer „ „ . .	4,4348	0
Linker „ „ . .	4,4350	— 0,00253

Hiernach beträgt der verticale Durchmesser des Bilds 0,0056, der

1) Zur Aufhebung des letzteren Fehlers wäre erforderlich, dass das Objectiv für zwei verschiedene Farben zugleich frei von Kugelabweichung wäre, — welche Bedingung bekanntlich von Gauss vorgeschlagen, von Steinheil dem Vater in die practische Optik mit Erfolg eingeführt worden ist. Die neueren Constructionen haben sie indess vorerst wieder aufgegeben, weil andere auf die äusseren Theile des Gesichtsfelds bezügliche Bedingungen für den Totaleffect doch noch stärker in's Gewicht zu fallen scheinen, als die Aufhebung jener Farbenreste, die bei Weitem nicht so auffallend in der Erscheinung sind, wie gross in Zahlen.

Digitized by Google

horizontale 0,0051 Linien, oder in angulärem Maasse der erstere 1″,31, der andere 1,19.

III. Büschel, von oben her gegen die Axe geneigt um 34′ 47″,01.

	Linien	Linien
Hauptstrahl	— 8,8684	0
Oberer $^2/_3$ Strahl . .	8,8669	0
Rechter „ „ . .	8,8692	— 0,0021
Unterer „ „ . .	8,8734	0
Linker „ „ . .	8,8692	+ 0,0021
Oberer Randstrahl . .	8.8735	0
Rechter „ „ . .	8,8702	+ 0,00034
Unterer „ „ . .	8,8737	0
Linker „ „ . .	8,8702	— 0,00034

Verticaler Durchmesser des Bildes ist hier 0,0068, horizontaler 0,0042 Linien, oder respective 1″,60 und 0″,99.

Aehnlich umfassende Angaben in Betreff irgend eines andern als vorzüglich anerkannten optischen Apparates liegen zur Zeit nicht vor: denn selbst Bessel's sorgfältige theoretische Untersuchung des Königsberger Heliometer-Objectivs (Bd. I. p. 106 ff. der Astron. Untersuchungen) bezieht sich nur auf Licht von Einer Farbe, und hat die seitlichen (rechts und links von der durch Axe und Hauptstrahl gelegten Ebene auffallenden) Strahlen nicht berücksichtigt, gibt also keinen Aufschluss in Bezug auf zwei wichtige Gesichtspuncte, die bei der Berechnung des neuen Apparates sehr wesentlich berücksichtigt worden sind. Dass man nicht einmal in Bezug auf diejenige Dimension des optischen Bilds eines Punktes, welche gegen die optische Axe gerichtet ist („vertical" in unserer Zusammenstellung genannt) ohne Berücksichtigung der Seitenstrahlen sich vollständig unterrichten kann, beweisen z. B. die für die Randstrahlen des dritten Lichtbüschels aufgeführten Zahlen, indem hier die verticale Coordinate der von den beiden Seitenstrahlen erleuchteten Puncte der Bildebene nicht einen Mittelwerth zwischen den analogen Werthen für den oberen und unteren Strahl annimmt, sondern einen kleinern als für diese beiden. Man kann also streng genommen in Betreff der durch geneigte Lichtbüschel im Heliometer-Objectiv erzeugten Bilder auch über ihre gegen die Axe gerichtete Dimension für jetzt nur behaupten, dass sie nicht kleiner sein kann, als die Rechnungen Bessel's sie ergeben, während

Digitized by Google

die zur ersten senkrechte Dimension ganz unbekannt ist. So weit übrigens Bessel's Ergebnisse in Betracht kommen, die er für Neigungen der Strahlenbüschel gegen die Axe von 24 und von 48′ gefunden hat, so muss man, um sie mit den obigen Zahlen möglichst vergleichbar zu machen, die Oeffnung des Heliometer-Objectivs auf $1/20$ seiner Brennweite (wie bei Steinheil die wirksame Oeffnung ist) reduciren, d. h. man muss in der kleinen Tafel bei Bessel p. 106 diejenigen Werthe von t ausschliessen, welche ausserhalb der Grenzen $\pm$ 116′ fallen, wodurch natürlich die Präcision des Bildes grösser gemacht wird, als sie bei der vollen Oeffnung (von ungefähr $1/16$ der Brennweite) ist. Durch Interpolation aus den von Bessel mitgetheilten Zahlen findet man hiernach, dass bei dem Heliometer-Objectiv die mit der Axe und dem Hauptstrahl in einer Ebene befindlichen Strahlen in der Bildfläche eine gegen die Axe gerichtete Linie erleuchten, deren Länge bei dem

17′ 24″ geneigten Lichtbüschel dem Angulärwerth 0″,68
34′ 47″ „ „ „ „ „ „ 2″,2

entspricht.

In dem äusseren Theile des Gesichtsfeldes macht sich also auch bei den mit der Axe in einer Ebene gelegenen Strahlen, die für das Fraunhofer'sche Objectiv allein verfolgt sind, die grössere Schärfe der Abbildung durch das Steinheil'sche bemerklich: in verstärktem Maasse wäre dies zu erwarten in Ansehung der übrigen Strahlen des Büschels, und ganz besonders dann, wenn man das Bild auch in noch grösserer Entfernung von der Axe in Anspruch nehmen wollte, wo seine Fehler bei dem Heliometer-Objectiv sehr rasch, bei dem neuen weit langsamer zunehmen.

An der Herstellung dieses optischen Apparates darf ich mir einigen, wenn auch entfernten, Antheil in so ferne zuschreiben, als die zur Abgleichung der Fehler nothwendigen trigonometrischen Formeln, durch welche der Weg der ausserhalb der Axen-Ebene gelegenen Lichtstrahlen verfolgt wird, von mir aufgestellt worden sind, — in dem Aufsatze, welcher im Bericht über unsere Sitzung vom 10. November 1866 gedruckt ist. Zu jener Zeit hatten diese Rechnungsvorschriften schon ein Jahr lang die Probe practischer Brauchbarkeit in den Händen von Dr. Steinheil bestanden: sie haben auch seitdem für die meisten und die wichtigsten Erzeugnisse des von den beiden Brüdern geleiteten Institutes ihre Dienste geleistet; die mit ihrer Hilfe vervoll-

Digitized by Google

kommneten Apparate sind bereits über die ganze Erde verstreut. — Im Gegenhalte zu demjenigen Wege der Untersuchung, welcher sich bei der Behandlung jener mathematischen Aufgabe sofort darbietet, dessen ich aber p. 265 meines Aufsatzes nur im Vorbeigehen gedacht, ist der Pfad, welchem ich glaubte den Vorzug geben zu müssen, charakterisirt durch den Umstand, dass man auf ihm (in Folge der besonderen Auswahl der Grössen, die in jedem Stadium die Lage des Lichtstrahls bestimmen) zur gegebenen Lage des auf eine brechende Fläche gerichteten Strahles die des gebrochenen findet, ohne den Punct aufzusuchen, in welchem er die Ablenkung erleidet. Die trigonometrischen Vorschriften, zu welchen der zuerst gedachte näherliegende, aber in der Verfolgung weniger durchsichtige und umständlichere [1]) Weg führt, haben übrigens seitdem gleichfalls ihre Publication erhalten durch Herrn Zinken gen. Sommer („Untersuchungen über die Dioptrik der Linsensysteme", Braunschweig 1870) und ganz neuerlich wiederholt durch Herrn Hansen („Untersuchung des Weges eines Lichtstrahls" etc., Bd. X. Nr. II. der math.-phys. Classe der K. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch.) In der letztgenannten Abhandlung findet man auch, und zwar an die Spitze derselben gestellt, eine Reproduction meiner Methode, doch ohne Erwähnung der Autorrechte, die mir an dieselbe zustehen, und mit Weglassung der Control-Gleichungen, in deren systematischer Aufstellung, wie ich glaube, ein für den Rechner sehr wesentliches Stück des Werthes dieser Vorschriften ruht. Die Gleichungen für die successive Bestimmung der nach meinem Vorgange beibehaltenen Unbekannten sind natürlich dieselben geblieben (sowohl für den Hauptfall als für den Ausnahmsfall der brechenden Ebene), abgesehen von zwei leichten in meinem Aufsatze (p. 271 unten und p. 274/5) bereits signalisirten Varianten, und abgesehen von einer ganz radikalen Aenderung in der Auswahl der Buchstaben. Gefolgt ist die Reproduction meinem Vorgange noch in den geometrischen Betrachtungen, welche zur Herleitung der verschiedenen Relationen

---

1) Wenn man nur die Zahl für die Rechnung nothwendiger Operationen vergleicht, also die Controlformeln, die nur für den Einen der beiden Wege aufgestellt sind, dabei ausschliesst, so macht jede Fläche, welche die Anzahl der Brechungen um Eine vermehrt, bei diesem Gange neunmaliges, bei dem meinigen sechsmaliges Aufschlagen der trigonometrischen Tafeln nothwendig: dazu kommt noch in beiden Fällen Einmaliges Aufschlagen der Gauss'schen Tafel.

Digitized by Google

dienen. Sie entfernt sich dagegen von meinem Aufsatze durch die weit umfangreichere Darstellung: zu ihrem besseren Verständniss hat sie Figuren beigegeben erhalten. Endlich auch habe ich keinen Antheil an den Anweisungen, welche dort (p. 77 ff.) für die eventuelle Bestimmung der Oeffnung der einzelnen Linsen vorgetragen werden; denn die zu diesem Zwecke p. 278 meines Aufsatzes gegebene Vorschrift ist eine durchaus verschiedene.

Digitized by Google

Ueber eine neue Methode, die Vergrösserung und das Gesichtsfeld eines Fernrohres zu bestimmen.

Von

Prof. Dr. A. von Waltenhofen in Prag.

Ich habe im vorigen Jahre in der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften [1]) ein Verfahren mitgetheilt, welches die Bestimmung der Vergrösserung und des Gesichtsfeldes eines Fernrohres bei aller wünschenswerthen Präcision auf eine viel bequemere Art gestattet, als dies bei den anderen Methoden der Fall ist, nämlich in der Weise, dass die Ausführung solcher Messungen mit den einfachen Hilfsmitteln einer Sammellinse und einer auf Papier verzeichneten Scala unabhängig von äusseren Objecten und ohne Anwendung grosser Distanzen in jedem Zimmer — auf einem einige Fuss langen Tische — geschehen kann.

Nachdem ich mich seither durch vergleichende Beobachtungen immer mehr von dem practischen Werthe des neuen Verfahrens überzeugt habe, glaube ich noch einmal darauf zurückkommen zu sollen, um dasselbe auch in diesem Repertorium — mit einigen nicht unwesentlichen Zusätzen — kurz zu besprechen.

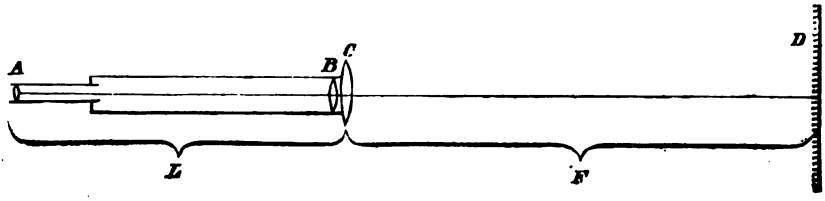
Das Princip, welches die Beobachtung in kurzen Distanzen ermöglicht, besteht einfach in der Anwendung einer unmittelbar vor dem Objective B des zu untersuchenden Fernrohres AB anzubringenden Sammellinse C („Collimationslinse") von genau bekannter Brennweite F, wobei das Fernrohr auf eine im Abstande dieser Brennweite aufgestellte Scala D gerichtet und auf diese Art zugleich für parallele Strahlen eingestellt wird.

Aus der Vergrösserung V', die man bei solcher Anordnung beobachtet, indem man mit einem Auge durch das Fernrohr und gleich-

1) Abhandlungen. VI. Folge, 5. Band. — Separatabdrücke im Verlage der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften.

Digitized by Google

zeitig mit dem anderen direct nach der Scala sieht, lässt sich sodann leicht die Vergrösserung V berechnen, welche dem Fernrohre nach Wegnahme der Collimationslinse bei der Betrachtung sehr weit entfernter Obejcte entspricht.



Es ist nämlich

$$V = V' \frac{F}{F + L}$$

wobei L die Länge des Fernrohres bedeutet.

Die Bestimmung des Gesichtsfeldes ergiebt sich in der Weise, dass man an der Scala die Zahl der Unterabtheilungen abliest, welche auf den ganzen Durchmesser des Sehfeldes entfallen. — Bedeutet H die mittelst Zirkel und Maassstab abgenommene Länge, welche die so abgelesenen Scalentheile einnehmen, so findet man das Gesichtsfeld φ in Graden nach der Formel

$$\varphi^0 = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{H}{F}$$

Die Richtigkeit dieser Formeln ergiebt sich leicht aus folgenden Betrachtungen.

Man denke sich ein System von $n + 1$ auf gemeinschaftlicher Axe centrirten Linsen von den Brennweiten $f_0, f_1 \ldots f_{n-1}, f_n$, wobei die im Sinne der bekannten Formel $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}$ correspondirenden Vereinigungsweiten für die einzelnen Linsen mit α_0 und a_0, α_1 und a_1, $\ldots$ α_{n-1} und a_{n-1}, α_n und a_n bezeichnet werden sollen. — Dieses Linsensystem erzeuge von der linearen Dimension g eines vor der $n + 1$ Linse befindlichen Gegenstandes ein Bild von der Grösse γ, wobei bekanntlich

$$\frac{\gamma}{g} = \frac{\alpha_0}{a_0} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \ldots \cdot \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot \frac{\alpha_n}{a_n}$$

Wird dieses Bild γ in der Sehweite s von einem Auge betrachtet, dessen Entfernung vom Gegenstande g mit E bezeichnet werden soll,

Digitized by Google

so ist die sogenannte „Vergrösserung“ V durch das Linsensystem offenbar gegeben durch die Formel

$$V = \frac{\gamma}{s} : \frac{g}{E} = \frac{E}{s} \cdot \frac{\gamma}{g}$$

Man erhält demnach die allgemeine (auch auf katoptrische Instrumente und auch auf projicirte Bilder anwendbare) Formel

$$V = \frac{E}{s} \cdot \frac{\alpha_0}{a_0} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \ldots\ldots \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot \frac{\alpha_n}{a_n}$$

Wendet man diese Formel auf ein Fernrohr an und berücksichtigt dabei zunächst den Fall, dass das für parallele Strahlen eingestellte Fernrohr nach Wegnahme der Collimationslinse auf einen in sehr grosser Entfernung E vom Fernrohre befindlichen Gegenstand gerichtet sei, so hat man $a_0 = E - L$ und kann, insofern L (die Länge des Fernrohres) gegen E verschwindet, schreiben

$$V = \frac{\alpha_0}{s} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \ldots\ldots \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot \frac{\alpha_n}{a_n}$$ [1])

Wird nunmehr die Collimationslinse angewendet, so kann man das Objectiv mit der Collimationslinse zusammengenommen als ein neues Objectiv von der Brennweite $f_0' = \frac{f_0 F}{f_0 + F}$ und der Vereinigungsweiten α_0' und a_0' betrachten, wobei man jedoch sofort sieht, dass vermöge der oben beschriebenen Anordnung des Versuches $E = L + F$, $a_0' = F$ und $\alpha_0' = \alpha_0$, weshalb man nunmehr eine Vergrösserung V' erhalten muss, für welche man nach Ausführung dieser Substitutionen in die allgemeine Formel findet

$$V' = \frac{L + F}{F} \cdot \frac{\alpha_0}{s} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \ldots\ldots \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot \frac{\alpha_n}{a_n}$$

---

1) Bei der gewöhnlich angenommenen Einstellung auf weit entfernte Objecte und für ein weitsichtiges Auge hat man sehr nahe $\alpha_0 = f_0$ und $a_n = f_n$, also wegen $\alpha_n = s$ die Formel $V = \frac{f_0}{f_n} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \frac{\alpha_2}{a_2} \cdot \ldots \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} = m \cdot \frac{f_0}{f_n}$ wenn das Product $\frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \frac{\alpha_2}{a_2} \cdot \ldots \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} = m$ gesetzt wird. Beim Fraunhofer'schen terrestrischen Okulare mit vier Linsen umfasst m drei Factoren und ist beträchtlich grösser als 1. Auf der durch entsprechende Construction des Oculareinsatzes ermöglichten Variation des Coëffizienten m beruht die sogenannte „pankratische“ Einrichtung. Beim Huyghens'schen (Campani'schen) Oculare für das astronomische Fernrohr ist m kleiner als 1, nämlich $m = \frac{\alpha_1}{a_1} = \frac{2}{3}$.

Digitized by Google

also im Vergleiche mit der Vergrösserung

$$V = \frac{\alpha_0}{s} \cdot \frac{\alpha_1}{a_1} \cdot \cdots \cdot \frac{\alpha_{n-1}}{a_{n-1}} \cdot \frac{\alpha_n}{a_n}$$

des Fernrohres ohne Collimationslinse

$$V = V' \frac{F}{F + L}$$

was zu beweisen war.

Die Richtigkeit der für das Gesichtsfeld aufgestellten Formel

$$\varphi^0 = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{H}{F}$$

ergiebt sich aus der einfachen Erwägung, dass der Abstand des Oculareinsatzes vom Objective bei der beschriebenen Beobachtung durch die Collimationslinse ganz derselbe ist wie beim gewöhnlichen Gebrauche des Fernrohres für weitentfernte Objecte. Dasselbe gilt daher auch von der aus der Mitte des Objectives gemessenen freien Oeffnung der ersten Ocularlinse, welche eben das Gesichtsfeld bestimmt und offenbar dem durch obige Formel dargestellten Winkel gleicht, unter welchem H von der Mitte des Objectives aus erscheint.

Die practische Ausführung des Verfahrens bedarf bei der Einfachheit desselben kaum einer näheren Erläuterung.

Als Collimationslinse wählt man eine möglichst dünne schlierenfreie Sammellinse von etwa 3 bis 6 Fuss Brennweite aus. Eine eigene Vorrichtung zur Befestigung derselben vor dem Objective, wie ich sie in meiner oben citirten Abhandlung beschrieben habe, — ähnlich dem Anschraubringe des Sömmering'schen Spiegels — ist ganz überflüssig, und es ist ganz zweckmässig, die Collimationslinse einfach mit Wachs am Objektivkopfe fest zu kleben, während bei Anwendung einer besonderen Vorrichtung leicht der Uebelstand eintritt, dass dem bei der beschriebenen Beobachtung direct nach der Scala sehenden Auge die Fassung [1]) der Collimationslinse hinderlich im Wege steht.

Die Scala soll über 1 Fuss lang und etwa $2^1/_2$ Zoll breit sein. Ein passendes Grössenverhältniss der Intervalle erhält man, wenn man eine Eintheilung in halbe Zolle mit stärker ausgezogenen und in zwanzigstel Zolle mit feiner ausgezogenen Linien ausführt und zur leichteren Uebersicht beim Abzählen die halbzölligen Intervalle durch

1) Jedenfalls müsste dieselbe, um dies zu vermeiden, von viel geringerer Breite gemacht werden, als in meiner oben citirten Abhandlung gezeichnet ist.

Digitized by Google

abwechselnd aufeinanderfolgende weisse und schwarze Quadrate markirt, etwa nach dem Muster der Figur 10 Tafel XII, welche ein Stück einer solchen Scala darstellt. (Eine ganze lithographirte Scala dieser Art ist jedem Exemplare meiner oben citirten Abhandlung beigegeben.) —

Zum Schlusse noch ein Beispiel. — Bei der Untersuchung eines terrestrischen Fernrohres mittelst einer Collimationslinse von $59^1/_4$ Zoll Brennweite kamen 200 mit freiem Auge gesehene (nach den besagten halbzölligen Quadraten abgezählte) Zwanzigstel-Intervalle auf 7 im Fernrohre gleichzeitig mit dem andern Auge gesehene. Da die Länge des Fernrohres 19.3 Zoll betrug, ergab sich hieraus sofort

$$V = \frac{200}{7} \cdot \frac{59.25}{59.25 + 19.30} = 21.6$$

als Vergrösserung. (Mit dem Ramsden'schen Dynamometer wurde der nahe übereinstimmende Werth 22.2 gefunden.)

Im Durchmesser des Gesichtsfeldes überblickte man im Ganzen ein 1.43 Zoll langes Stück der Scala. Für das Gesichtsfeld in Graden ergab sich daher

$$\varphi^0 = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{1.43}{59.25} = 1.38 = 1^0\ 23'$$

(Aus dem Blendungsdurchmesser und dem Abstande von der Ocularlinse ergab die Rechnung bei Annahme einer 22maligen Vergrösserung ein Gesichtsfeld von $1^0\ 30'$.)

Endlich mag noch besonders hervorgehoben werden, dass die beschriebene Methode auch beim Galilei'schen Fernrohre angewendet werden kann, was z. B. bei dem sonst so eleganten und empfehlenswerthen Verfahren mit dem Ramsden'schen Dynamometer nicht der Fall ist.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Ueber eine neue Form der Noë'schen Thermosäule.

Von Prof. Dr. A. von Waltenhofen in Prag.

(Hiezu Tafel XII, Figur 9.)

Herr Noë in Wien, von dessen vorzüglichen thermo-electrischen Säulen ich schon im VII. Bande dieses Repert. eine ausführliche Beschreibung gegeben habe, erzeugt gegenwärtig eine besondere Gattung kleiner Säulen, welche wegen ihrer Leistungsfähigkeit, Compendiosität und zweckmässigen Einrichtung bestens empfohlen zu werden verdienen.

Um es nämlich zu ermöglichen, dass die Säule durch die Flamme einer gewöhnlichen runden Weingeistlampe oder jene eines Bunsen'schen Brenners geheizt werden könne, sind die Elemente folgendermaassen eingerichtet:

Der in das eine Ende des positiven Metalles eingeschmolzene negative Draht ist von dieser Contactstelle ab unter einem spitzen Winkel zurückgebogen. In dieselbe Contactstelle ist ferner auch ein metallener Stift eingeschmolzen, welcher die Bestimmung hat, die aus der Heizflamme aufzunehmende Wärme der Contactstelle zuzuführen.

Zwanzig dergestalt eingerichtete Elemente sind in horizontaler Lage in der Ebene eines Kreises so angeordnet, dass die positiven Cylinder in die Radien dieses Kreises zu liegen kommen, während die Heizstifte sämmtlich gegen den Mittelpunct gerichtet sind. Es genügt also, in diesem Mittelpuncte eine Rundflamme anzubringen, um alle Heizstifte zu erwärmen.

Die Verbindung der Elemente untereinander wird durch Kupferblechstreifen vermittelt, auf welche die ungleichnamigen Pole je zweier Elemente aufgelöthet sind. Diese Kupferblechstreifen haben zugleich die Bestimmung, die Wärme aus den Elementen abzuleiten und an

Digitized by Google

die Luft abzugeben, weswegen — um die Wirksamkeit zu erhöhen — an dieselben noch Rollen dünnen Kupferbleches der Länge nach angelöthet sind. Die eben bezeichneten Wärmeableiter sind symmetrisch auf der Mantelfläche eines steifen isolirenden Ringes befestigt und bilden mit diesem das Gestell. Die Säule hat somit im Wesentlichen die cylindrische Form. Da selbstverständlich die Heizstifte einander nicht berühren dürfen, entsteht im Mittelpunct des Systems eine Lücke; damit die Flamme nicht ungenützt durch dieselbe hinausschlage, ist sie durch ein Glimmerblatt geschlossen, wodurch die Flamme genöthigt ist, den Weg zwischen den Heizstiften hindurch zu nehmen und somit den grössten Theil der Wärme an diese abzugeben.

Figur 9 Tafel XII gibt die schematische Scheitel-Ansicht einer solchen Säule. Es bedeuten: a. die Contactstelle der Elemente, b. den Heizstift, c. den wärmeableitenden Kupferstreifen mit der Blechrolle, d. den isolirenden Ring, an welchem die letzteren angeschraubt sind, e. das Glimmerblatt. Im Gestelle ist ein cylindrischer Mantel aus Eisendraht-Geflecht so angebracht, dass er einerseits die Ausstrahlung der Wärme aus der Flamme gegen das Gestell abschwächt, und anderseits in der unten angegebenen Weise zur Aufstellung der Säule über einem Bunsen'schen Brenner dient.

Wird die Säule mittelst Spiritusflamme geheizt, so wird sie unmittelbar auf die Tischplatte gestellt. Bei Anwendung eines Bunsen'schen Brenners wird auf das Tragekreuz desselben eine Blechscheibe und auf diese die Säule selbst mit dem bereits erwähnten cylindrischen Drahtnetze aufgesetzt. (Das Brennrohr muss hinreichend hoch sein, damit das Gaszuleitungsrohr unter dem Fusse der Säule hinweggehen könne.) Bei dem Gebrauche hat man blos darauf zu achten, dass die Flamme nicht bis an die Contactstelle a der Elemente schlage; die Heizstifte können bis zum Dunkelglühen erhitzt werden.

Die mit einer solchen 20elementigen Säule ausgeführten Messungen haben für electromotorische Kraft und Widerstand im Wesentlichen dieselben Werthe ergeben, welche ich in meiner oben citirten Abhandlung als die Ergebnisse meiner mit der dort beschriebenen Säule angestellten Versuche ausführlich besprochen habe. Die electromotorische Kraft der 20elementigen Säule wurde nämlich mittelst der Tangentenbussole nach der Ohm'schen Methode = 19.4 (die electromotorische Kraft eines Bunsen'schen Elementes = 20 gerechnet) gefunden. Eine Vergleichung nach der Fechner'schen Methode der

Digitized by Google

grossen Widerstände gab (auf die electromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes = 12 bezogen) die Zahl = 19.1, also in beiden Fällen sehr nahe die electromotorische Kraft 1 per Element.[1]) Dabei waren die Heizstifte schwach glühend erhalten. — Der Widerstand der ganzen Säule war 1.119 nach Siemens'chem Maasse, also 0.056 per Element, sehr nahe übereinstimmend mit den früheren Versuchen.

Mit derselben 20elementigen Säule habe ich auch folgende Vorlesungsversuche gemacht. Es wurde mit derselben ein kleiner electromagnetischer Motor in Gang gesetzt, ferner ein dünner Platindraht bis zum Entzünden von Schiessbaumwolle erhitzt und endlich bei Anwendung kupferner Electroden (oder wenigstens einer kupfernen Anode) eine sehr lebhafte Wasserzersetzung bewirkt. Es braucht wohl kaum erinnert zu werden, dass zu diesem letzteren Versuche blanke Platinplatten nicht geeignet sind, wegen des mit Rücksicht auf die electromotorische Kraft der Säule zu grossen Betrages der Polarisation.

Selbstverständlich können solche Thermosäulen auch zum Betriebe von Inductionsapparaten, z. B. für therapeutische Zwecke, sehr wohl verwendet werden.

Der Preis von 12 fl. ö. W. (ohne Lampe) muss in Betracht der guten Eigenschaften und sorgfältigen Ausführung der Säule als ein äusserst mässiger bezeichnet werden.

Mittheilung über Dr. R. Radau's Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones.

Von Dr. Ph. A. M. Mayer.

Im vorletzten Hefte des Repertoriums (Bd. VIII. Heft 1) schreibt Herr Radau in Paris am Anfange seiner „Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones": „Das einfachste Mittel, den zuerst von Doppler gemuthmaassten Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die scheinbare Tonhöhe zu constatiren,

1) Diesen Bestimmungen sind die Jacobi'sche (chemische) Stromeinheit und die Siemens'sche Widerstandseinheit — als die populärsten und in der Technik üblichsten — zu Grunde gelegt.

Digitized by Google

besteht wohl in der Anwendung von zwei Stimmgabeln, die ungefähr gleiche Höhe haben. Man findet dasselbe bereits 1865 in dem Catalog acustischer Apparate von R. König angegeben, ferner bei Pisko (Die neueren Apparate der Acustik, Seite 224) und in meiner populären Acustik (Seite 298 der deutschen Ausgabe), sowie an anderen Orten erwähnt. Trotzdem hat ein Herr A. M. Mayer dieselbe Methode der Pariser Academie der Wissenschaften am 11. März 1872 als etwas ganz Neues mitgetheilt. Der einzige Unterschied liegt darin, dass König die Stösse zählt, welche bei der Bewegung der einen Stimmgabel für das Ohr verloren gehen oder hinzukommen, wodurch die Aenderung der Tonhöhe gemessen wird, während Herr Mayer (ein Amerikaner) blos durch ein die ruhende Gabel berührendes Korkkügelchen constatirt, ob dieselbe mit der in Bewegung begriffenen Gabel mitschwingt oder nicht."

Da Herr Dr. Radau weder Herrn Königs noch meine Versuche angibt, sondern sie schnell übergeht und zu den seinigen eilt, scheint es mir wünschenswerth, unsere Versuche in unseren eigenen Worten zu geben, damit ein jeder durch Vergleichung sich ein Urtheil schaffen kann, sowohl über diese Versuche wie die, die Herr Radau als seine veröffentlicht.

Königs Catalogue des Appareils d'Acoustique. p. 16. no. 73.

„Deux diapasons ut_4, montés sur leurs caisses de resonnances et accordés pour donner exactement quatre battements par seconde ....

On peut varier l'expérience de plusieurs manières. Voici la plus simple:

On met les deux diapasons l'une à côte de l'autre, à quelque distance de l'oreille, puis, ayant constate d'abord qu'ils donnent bien les quatre battements par seconde, on rapproche le plus grave des deux de l'oreille, d'environ 60 centimètres, tout en continuant de compter les battements. L'oreille reçoit alors de ce diapason une vitration double de plus, pendant le temps employé à le déplacer, et l'on constate alors la perte d'un battement dans le même temps. Si c'est le plus aigu des deux diapasons que l'on rapproche de l'oreille, on obtient un battement de plus.

Si on tient l'un des diapasons à la main, les yeux fixés sur un pendule qui bat les secondes, on arrive sans peine à lui donner un mouvement de va-et-vient, tel qu'on entende toujours alternativement

Digitized by Google

trois et cinq battement par seconde. J'ai enfin fait l'experience en mettant les deux diapasons à une certaine distance l'un de l'autre, et en promenant entre eux, soit l'oreille elle-même, soit ce qui est de beaucoup préférable, un resonnateur ut_4, mis en communication avec l'oreille par un tube en caoutchouc.

Je ferai encore observer qu'on arrive, par le même procédé, à determiner approximativement la longueur d'onde d'un son et sa hauteur."

Im Manuscripte folgt nun die Note des Herrn Verfassers aus den Comptes Rendus, 11. März 1872, p. 747, welche wir unterlassen, da sie mit dem im 2. Hefte des Repertoriums (VIII. Band) gegebenen Aufsatze des Herrn Verfassers ganz übereinstimmt (Carl).

Herr Dr. Mayer fährt dann fort:

Königs Methode gründet sich auf Wahrnehmung vermehrter oder verminderter Stösse und die Versuche können von nur wenigen Zuhörern beobachtet werden; meine Methode dagegen, auf Influenzerscheinungen und da die Gabel und das Korkkügelchen vielfach vergrössert an die Wand geworfen werden, sind die Versuche vor einer Zuhörerschaft von beinahe tausend Personen zur grössten Zufriedenheit ausgefallen. König's Versuche sind streng subjectiv, meine äusserst objectiv und durch die sichtbare mechanische Wirkung der Gabel, unmittelbar verständlich.

Man könnte fragen, warum ich in meiner Mittheilung keine Notiz von König's schönen Versuchen genommen habe. Nach sorgfältiger Durchsicht aller Zeitschriften u. s. w., die mir zu Gebote standen, fand ich nichts, das mit meinem Ausspruch auf den Gebrauch der Gabel, die Anwendung der Influenzwirkung oder das Vorzeigen, mittelst der Laterna Magica, vor einem grösseren Publicum in Widerspruch stand.

Erst nach Veröffentlichung meiner Mittheilung an die Pariser Academie erfuhr ich von meinem Freunde, Herrn Prof. Rood von Columbia College, dass König Gabeln zu ähnlichen Zwecken angewandt habe.

Hätte ich König's Veröffentlichung früher gelesen, würde ich ihrer gewiss als Einleitung gedacht haben. Es bleibt mir nur noch übrig, hier öffentlich Herrn König mein amende honorable auszudrücken.

Nach Durchsicht meiner Versuche 2 bis 9 ist noch ein Satz von Herrn Radau besonders beachtenswerth.

Digitized by Google

Herr Radau sagt:

„Sind die Gabeln auf Resonanzkisten gestellt, so kann man die Aenderung der Tonhöhe durch Influenzerscheinungen beobachten. Man lässt also die eine Gabel auf dem Tisch stehen, während man die andere, unisono gestimmte, kräftig anstreicht und dann der ersteren nähert oder von ihr entfernt. Wird die zweite Gabel nur während dieser Bewegung mit ihrer Resonanzkiste verbunden, so geräth die ruhende Gabel nicht in Mitschwingung, weil der influencirende Ton durch die Bewegung verstimmt ist. Dagegen kann man die Mitschwingung erzielen, wenn man die influencirende Gabel vorher in passender Weise verstimmt (z. B. durch Aufkleben von Wachs, wodurch sie tiefer wird)".

Die Geschichte dieses Gegenstandes, auch die von Herrn Radau angegebenen Stellen, seine Acoustique nicht ausgenommen, habe ich sorgfältig geprüft, nur die deutsche Ausgabe seines Werkes war mir unzugänglich, und wenn der eigentliche Inhalt des obigen Citats nicht dort angegeben ist, darf ich wohl sagen, dass ich mir keine verständlichere und bündigere Beschreibung des eigentlichen Inhalts meiner Mittheilung an die Pariser Akademie hätte wünschen können, als sie im oben angeführten Citat gegeben ist; nachdem nun Herr Radau im Anfange erklärt, ich habe nichts Neues gethan, scheint es etwas kühn im letzteren Theil meine Arbeit so gemüthlich sich anzueignen.

Apparat zur Demonstration eines Gefrierverzugs beim Wasser.

Von Dr. G. Krebs.

Um auf einfache und sichere Weise zu zeigen, dass das Wasser oft beträchtlich unter 0^0 abgekühlt werden kann ohne zu frieren, kann man sich des nachstehend beschriebenen Apparates bedienen, der in gleicher Weise von mir angewandt worden ist, um Siedeverzüge in grösserem Maassstabe zur Anschauung zu bringen.[1])

1) Pogg. Ann. Bd. CXXXVI. pag. 144. 1869.

Digitized by Google

Eine mit einer Kugel versehene, knopf-, blasen- und streifenfreie, einigermaassen dickwandige, unten zugeschmolzene Glasröhre (Fig. 1),

Fig. 1

welche ca. 18 Cm. lang und 1 Cm. weit ist, wird mit Schwefelsäure gefüllt nnd kurze Zeit erhitzt. Hierauf wird die Schwefelsäure ausgegossen und die Röhre wiederholt mit destillirtem Wasser ausgespült. Alsdann wird das obere Ende der Glasröhre in eine lange Spitze ausgezogen (Fig. 2). Man befestigt nun die Glasröhre an einem Gestell und lässt die Spitze in längere Zeit gekochtes destillirtes Wasser tauchen. Erhitzt man nun die Kugel und die Röhre und lässt wieder erkalten, so steigt Wasser ein; durch wiederholtes Erhitzen und Erkaltenlassen kann man die Röhre (nebst der verlängerten Spitze) vollständig mit Wasser füllen. Man thut gut, wiederholt durch Erhitzen einen Theil des Wassers auszutreiben und durch Erkaltenlassen wieder einsteigen zu lassen. Man wird es freilich trotzdem nur selten dahin bringen, dass an der oberen Umbiegung der Röhre nicht noch eine kleine Luftblase sitzen bleibt. Schliesslich entfernt man das Gefäss mit dem destillirten Wasser und lässt die Spitze der vollständig (bis an die Spitze) mit Wasser gefüllten Glasröhre in ein Gefäss mit ausgekochtem Quecksilber tauchen; erhitzt bis nur noch der untere Theil der Röhre und etwa die Hälfte der Kugel mit Wasser gefüllt ist und schmilzt dann rasch an der Umbiegung zu. Der Apparat ist nunmehr fertig und hat die Gestalt wie Fig. 3.

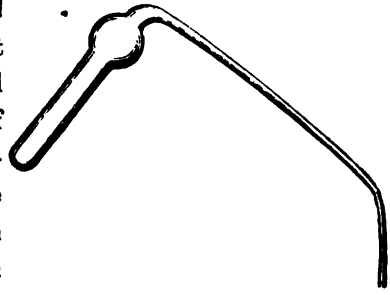


Fig. 2.

Fig. 3.

Will man nun einen Versuch mit dem Apparate anstellen, so stellt man ihn nebst einer gleichen, offenen, mit gewöhnlichem Wasser bis in die Mitte der Kugel gefüllten Glasröhre (Fig. 1) erst kurze Zeit in ein Gefäss mit Wasser, damit beide sicher gleiche Temperatur besitzen und beide darauf in eine Kältemischung, z. B. in eine Mischung von Wasser und salpetersaurem Ammoniak. Nach kurzer Zeit fängt das gewöhnliche Wasser in der offenen Röhre zu frieren an, während das luftfreie in der geschlossenen noch völlig

Digitized by Google

klar ist.[1]) Man kann dann recht wohl die Röhre aus der Kältemischung herausnehmen, ohne fürchten zu müssen, dass die dabei entstehende geringe Erschütterung ein Gefrieren des überkalteten Wassers herbeiführt. Durch momentanes Herausnehmen beider Röhren aus der Kältemischung kann man also das Auditorium leicht von dem Vorhandensein eines Gefrierverzugs überzeugen. Man kann nun die Röhren noch auf einige Minuten in die Kältemischung stellen, ohne dass das luftfreie Wasser von selbst friert, während welcher Zeit das gewöhnliche Wasser vollständig gefroren ist. Nimmt man dann die geschlossene Röhre heraus, fasst sie an der Umbiegung und bewegt einmal die Röhre heftig von oben nach unten, so friert das Wasser plötzlich und zwar beginnt das Gefrieren an der Oberfläche. (Lässt man das luftfreie Wasser zu lange in der Kältemischung stehen, so friert es natürlich zuletzt von selbst.)

Das aus luftfreiem Wasser sich bildende Eis ist sehr feinfaserig und zugleich sieht man nur hie und da an den Enden der Fasern winzige Luftbläschen, während das Eis, welches aus gewöhnlichem Wasser krystallisirt, von viel gröberer Structur ist und zahlreiche Luftblasen umschliesst.

Der beschriebene Apparat ist also wohl geeignet, einem grösseren Auditorium die Möglichkeit der Ueberkaltung des Wassers deutlich zu zeigen; zudem ist er einfach und billig herzustellen und kann, einmal fertig, jeden Augenblick wieder zu einem neuen Versuch benutzt werden.

---

1) Stellt man die beiden Röhren nahe an die Wand des mit der Kältemischung gefüllten Becherglases, so kann man von aussen durch die Wand des Becherglases hindurchsehen, wenn das gewöhnliche Wasser zu frieren beginnt.

Digitized by Google

Der magnetische Theodolith.

Von

Meyerstein in Göttingen.

(Hiezu Tafel XIII.)

Bei der Construction des magnetischen Theodoliths war ich bemüht, die Beobachtungs- und Rechnungs-Methoden in Anwendung bringen zu können, welche von Gauss und Weber vorgeschrieben sind. Bei der absoluten Intensitätsbestimmung, die Ablenkungen des schwingenden Stabes messen zu können, musste ich allerdings die schöne Methode der Spiegelablesung aufgeben und dieselben an einem eingetheilten Kreise messen, wie es ja auch schon von Lamont geschehen ist. Um nun ganz nach dem Verfahren von Gauss und Weber beobachten zu können, sind die hier in Anwendung kommenden Magnete durchbohrt und als Collimatoren eingerichtet. In dem Brennpuncte der hier angewandten achromatischen Objective befindet sich ein Micrometer, so dass man kleine Abweichungen an demselben bestimmen kann.

Der eingetheilte Kreis A bildet zugleich den Dreifuss des Instrumentes (Fig. 1, 2 u. 3). Die um den Zapfen des Kreises drehbare Alhidade B ist eine volle Scheibe, welche durch Micrometer- und Klemmschraube mit dem Kreise verbunden wird. Auf der Alhidade ist die Stütze S befestigt, welche zur Aufnahme des Fernrohrs dient, um sowohl die magnetischen als auch die astronomischen Beobachtungen, so weit letztere auf Reisen wünschenswerth sind, machen zu können. Diese Stütze ist in einer solchen Entfernung vom Mittelpuncte des Kreises befestigt, dass bei senkrechter Stellung des Fernrohrs der äussere Rand des Kreises nicht berührt wird. Durch diese Anordnung ist man im Stande, für den astronomischen Gebrauch des Instrumentes, mit Hülfe eines Quecksilber-Horizonts und eines Gauss'schen Oculares den Nadirpunct mit Schärfe zu bestimmen.

Digitized by Google

Auf dem einen Arme der Fernrohraxe sitzt die mit einer Libelle versehene Alhidade, in welcher sich also die Fernrohraxe mitsammt dem an derselben befestigten Kreise drehen lässt, die Alhidade selbst aber wird durch die an der Stütze befestigten Klemm- und Micrometerschrauben gehalten und fein bewegt. Fernrohr mitsammt Kreis und Alhidade lassen sich umlegen. Selbstverständlich ist noch eine besondere Libelle für die Zapfen der Fernrohraxe beigegeben, um dieselbe senkrecht gegen die Verticalaxe des Instrumentes stellen zu können. Der in der Mitte der Alhidade B (Fig. 1) befindliche cylindrische Zapfen Z trägt den magnetischen Apparat, welcher in folgender Weise eingerichtet ist.

In Fig. 1 ist $a\,a$ die Büchse, welche auf den Zapfen der Alhidade gesteckt und mittelst der Klemmschraube b daran befestigt wird. An dieser Büchse befindet sich eine runde Scheibe c, über welcher eine zweite runde Scheibe d liegt, die mittelst 3 Schrauben $m\,m'\,m''$ mit einander in Verbindung stehen; über eine jede dieser Schrauben ist eine Spiralfeder gesteckt, welche die beiden Scheiben auseinander halten.

Auf der Scheibe d ist ein kurzer hohler Cylinder e befestigt, dessen Axe parallel mit der Scheibe ist, und auf diesem Cylinder senkrecht ist das Rohr mit dem Torsionskreise befestigt, welcher zur Aufnahme des Fadens für das Schiffchen des Magnets dient. Der Magnet M, welcher, wie schon gesagt, ein Collimator ist, liegt in der Mitte, diametral gegenüber zwei feste Vorsprünge $v\,v'$. In gleichem Abstande von der Mitte sind in dem Magnete M zwei prismatische Nuthen gedreht. Dieselbe Form der Nuthen besitzt das Lager des Schiffchens f zur Aufnahme des Magnets, so dass man denselben mit Sicherheit in das Schiffchen legen kann. (Fig. 1 u. 4.) In der Mitte des Schiffchens befindet sich nach unten ein kurzer dünner Stift, gegen welchen man immer die schon erwähnten Vorsprünge des Magnets anlegen kann, und da sich der Magnet in dem Schiffchen um seine Axe drehen lässt, so ist der zweite Vorsprung so justirt, dass wenn derselbe bei einer Drehung ebenfalls den Stift berührt, dieselbe genau um 180° erfolgt ist. In beiden Lagen sind die Linien des Micrometers senkrecht.

Sowohl für die Bestimmungen der absoluten Declination, besonders aber bei denen der absoluten Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus, ist es wünschenswerth, dass der schwingende

Digitized by Google

Magnet möglichst rasch zur Ruhe kommt. Ich habe aus diesem Grunde einen recht starken cylindrischen Dämpfer construirt, welcher den schwingenden Magnet sehr nahe umgibt. Dieser Dämpfer ist in der Richtung der Längenaxe bis zu seinen Endflächen durchschnitten. Ueber einer jeden Hälfte dieses Dämpfers ist ein dünnes Rohr von Messing oder Kupfer bis zur Mitte desselben geschoben und daran befestigt, so dass, wenn man nun die beiden Hälften in einander schiebt, das Ganze einen Cylinder bildet, dessen äusserer Durchmesser genau so gross sein muss, dass man ihn in den mittlern kurzen hohlen Cylinder *e* leicht schieben kann. Die Endflächen des Dämpfers sind durchbohrt und mit planparallelen Gläsern verschlossen. Wie schon aus der Zeichnung der Fig. 1 hervorgeht, ist in der Mitte des Dämpfers eine Oeffnung, damit der Aufhängungsstift des Schiffchens vollkommen freien Raum hat.

Es ist durchaus nothwendig, dass sich eine jede Hälfte des Dämpfers leicht in den mittlern Theil schieben lässt, dabei aber festsitzt und den schwingenden Magnet vollkommen gegen Luftzug schützt, was jedoch ohne Schwierigkeit erreicht wird.

So weit ich jetzt den Apparat beschrieben habe, dient derselbe für die Bestimmung der absoluten Declination. Man beginnt hiebei mit dem Nivellement des ganzen Instrumentes, legt dann den Collimator in das Schiffchen und sucht nun mittelst der Schrauben $m\,m'\,m''$ den zur Aufhängung des Schiffchens dienenden Stift in die Mitte der Oeffnung, durch welche er geht, zu bringen. Wenn das geschehen, so schiebt man erst die eine Hälfte des Dämpfers in den mittleren hohlen Cylinder und dann die zweite Hälfte, so dass der Collimator (Magnet) dicht eingeschlossen ist. Da die horizontale Axe des Fernrohrs in derselben Höhe liegt, in welcher der Collimator schwingt, so hat man, nachdem das Fernrohr nur nahezu horizontal gelegt ist, den ganzen mittlern Theil auf dem Zapfen der Alhidade so weit zu drehen, dass der Dämpfer in der Richtung der Fernrohraxe zu stehen kommt. Nun dreht man die Alhidade um den Zapfen des Kreises, bis dass der Collimator frei schwingt, was mit der grössten Leichtigkeit erreicht wird, da selbst die verticalen Schwingungen des Collimators rasch aufhören und bei der feinern Einstellung durchaus nicht störend sind. — Wenn nun eine scharfe Einstellung auf den mittlern Strich des Collimators gemacht ist, wobei in Folge der starken Dämpfung der Collimator vollkommen fest steht, so wird der mittelst der Nonien bis

Digitized by Google

auf 10″ eingetheilte Kreis abgelesen.[1]) Nun wird die eine Hälfte des Dämpfers weggenommen, der Collimator aus freier Hand um 180° gedreht, was durch die schon angedeutete Einrichtung leicht ermöglicht wird, dann setzt man den Dämpfer wieder ein. Ist nun der Collimationsfehler klein genug, um ihn an dem Micrometer beobachten zu können, so würde (nachdem man sich Kenntniss von dem Werthe des Micrometers des Collimators verschafft hat) die magnetische Messung für die absolute Declination beendet sein, im andern Falle müsste man wieder die Alhidade drehen, um auf denselben Strich einzustellen, wie bei der ersten Beobachtung, und würde nochmals die Nonien abzulesen haben. Das Mittel aus beiden Ablesungen giebt alsdann die Richtung der Axe des schwingenden Magnets. Welchen Winkel diese Richtung mit dem astronomischen Meridian bildet, würde nun durch die auszuführende geodätische Messung zu ermitteln sein. — Selbstverständlich ist es aber, dass zuvor die Torsion des Coconfadens, an welchem der Collimator hängt, bestimmt wird, zu welchem Zwecke auch der Torsionsstab zum Collimator eingerichtet ist, so dass auch hiebei immer auf gleiche Weise beobachtet werden kann. Um das in den Collimatoren befindliche Micrometer recht klar zu sehen, setze ich auf die Alhidade des Instrumentes, an entsprechender Stelle, einen kleinen beweglichen Beleuchtungsspiegel.

Will man nun mit diesem Theodolith die absolute Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus bestimmen, so bleibt die Aufstellung dieselbe, wenn mit den Ablenkungen des schwingenden Stabes der Anfang gemacht werden soll.

Um mit Sicherheit den ablenkenden Stab stets senkrecht gegen den magnetischen Meridian und in bestimmten Abständen von dem abgelenkten (schwingenden) Stabe stellen zu können, habe ich eine höchst einfache Einrichtung getroffen.

In den Figuren 2 und 3 sind KK' Klemmen, welche sich scharf an die äussere Peripherie des Kreises anlegen. Mit diesen Klemmen sind die Träger der Röhren fest verbunden, auf welche der Sattel gg (Fig. 3) des Ablenkungsstabes gelegt wird. Auf diesen Röhren sind die Stellen, von welchen aus die Ablenkungen vorgenommen werden sollen, nicht nur durch scharfe Linien, mit Hilfe der Längen-

1) Ich habe die Alhidade mit 4 Nonien versehen, weil häufig die Beleuchtung der einen oder andern zwei gegenüberliegenden Nonien zum Ablesen günstiger ist.

Digitized by Google

theilmaschine, bezeichnet, sondern an den betreffenden Stellen sind kleine Löcher gebohrt, in welche der im Sattel *g* befindliche Stift *i* (Fig. 3) passt. Dieser Sattel hat zu beiden Seiten Facetten, auf welchen, scharf durch die Mitte des Stiftes *i*, eine Linie gezogen ist, welche mit den auf den Röhren gezogenen stets coincidiren muss, wenn der Sattel mit seinem Stifte in die entsprechenden Oeffnungen in den Röhren eingesetzt ist; man hat auf diese Weise stets eine Controle für den richtigen Abstand. Die Form des Sattels (Fig. 3) zur Aufnahme des Stabes ist den in den Stab eingedrehten prismatischen Nuthen entsprechend; wenn der Stab in dem Sattel liegt, so wird er durch zwei Bügel *gg* festgehalten (Fig. 3). Um nun mit Leichtigkeit die Röhren, auf welche der ablenkende Stab gelegt wird, in eine grade Linie zu bringen, welche senkrecht gegen den magnetischen Meridian ist, so ist eine jede Klemme *KK'* mit einem Index *nn'* (Fig. 2 und 3) versehen, welche in einer senkrechten Ebene sich befinden, die man sich durch die Mitte der Axe der Röhren, die den Ablenkungsstab tragen, gelegt denken kann.

Auf der Alhidade selbst aber sind, diametral gegenüber, zwei Linien gezogen (mit 0—180 bezeichnet), welche genau senkrecht gegen das Fernrohr stehen, folglich auch gegen den schwingenden Stab, wenn er zur Ruhe gekommen ist. Es ist also nun nichts weiter erforderlich, als dass man bei der jedesmaligen Aufstellung des Instrumentes, wenn man eine Intensitätsmessung machen will, die Klemmer *KK'* so befestigt, dass, wenn der mittlere Strich des Collimators mit dem des Fernrohrs zusammenfällt, die Indices der Klemmen auf 0 und 180 zeigen.

Wie schon beim Eingange gesagt, werden die hervorgebrachten Ablenkungen durch die Drehung der Alhidade an dem Kreise abgelesen und da die Dämpfung ausserordentlich kräftig ist, so lässt sich die Einstellung auf das Micrometer des Collimators sehr scharf machen. Bei meinem Instrumente sind in Ost und West in zwei verschiedenen Abständen Ablenkungen zu machen; diese Abstände habe ich mit 0, 75, 525 und 600 bezeichnet.

Zur Bestimmung der Schwingungsdauer des ablenkenden Stabes wird zunächst der Dämpfer entfernt und für denselben ein aus zwei Theilen bestehender länglich viereckiger Kasten von ganz dünnem Messing oder Kupferblech benützt. Eine jede Hälfte dieses viereckigen Kastens ist an einem Ende mit einem offenen kurzen Cylinder, von

Digitized by Google

demselben äusseren Durchmesser, wie der des Dämpfers, versehen, so dass man dieselben von den zwei gegenüberliegenden Seiten in den mittlern Theil des Theodoliths bringen kann, in welchem zuvor der Dämpfer sass. Dieser Kasten (Fig. 4 u. 4b) ist ebenfalls an seinen Endflächen durchbohrt und durch Planparallelgläser verschlossen. Der innere Raum des Kastens ist genügend gross, um den Ablenkungsstab sowohl ohne als auch mit Gewichten in demselben schwingen lassen zu können. — Der Ablenkungsstab, genau von der Form und Einrichtung des abgelenkten, ist an einem jeden Ende mit einem Stäbchen versehen, in welche kleine Häkchen geschraubt sind (Fig. 4), die dazu dienen, die Gewichte aufzunehmen, welche zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des Stabes benutzt werden sollen. Diese Gewichte GG' (Fig. 4) cylindrischer Form, haben in der Mitte einen kleinen Knopf, welcher central durchbohrt ist. Durch diese Oeffnung wird ein dem Gewichte entsprechender Coconfaden gesteckt und befestigt. Das andere Ende des Coconfadens trägt einen kleinen Ring, welchen man in den eben angegebenen Haken des kleinen Stäbchens hängt und dann lässt man das Gewicht in der Weise herab, dass der Coconfaden die Kante dieses Stäbchens berührt. — Nachdem beide Gewichte so aufgehängt waren, wurde ihr Abstand gemessen. —

Ich lasse hier einige Messungen folgen, welche ich in Gemeinschaft mit dem Herrn Dr. Rieke, Assistenten im physikalischen Cabinete, in meinem Hause und in meinem Garten ausgeführt habe.

Messung der Horizontalintensität.

Trägheitsmoment des Ablenkungsstabes.

Die Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes wurde beobachtet

mit Belastung = 10.″916
ohne Belastung = 3.″117

Das Trägheitsmoment der cylindrischen Gewichte, deren Gesammtgewicht 50 Gramme beträgt, berechnet mit dem gemessenen Abstand von der Drehaxe und dem Durchmesser, wurde gefunden

= 82334600.

Es berechnet sich hiermit das Trägheitsmoment des Ablenkungsstabes

Digitized by Google

mit Belastung = 89644000
ohne Belastung = 2309000.

Bei einer Wiederholung der Bestimmung wurde gefunden:

Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes
mit Belastung = 10.918
ohne Belastung = 3.114.

Trägheitsmoment des Ablenkungsstabes
mit Belastung = 89622000
ohne Belastung = 2293000.

Ablenkungsbeobachtungen.

Abstand des Ablenkungsstabes vom Schwingungsstabe.	Nordpol nach	Ablesungen des Kreises.	Ablenkung.
— 300	O	132° 17′ 30″	8° 54′ 35″
	W	114° 28′ 20″	
— 225	O	144° 7′ 50″	20° 43′ 7″
	W	102° 41′ 35″	
+ 225	O	142° 50′ 25″	20° 15′ 25″
	W	102° 19′ 35″	
+ 300	O	131° 59′ 52″	8° 44′ 1″
	W	114° 31′ 50″	

Es ergiebt sich also im Mittel für die Entfernung 300 eine Ablenkung von 8° 49′ 18″; für die Entfernung 225 eine Ablenkung von 20° 29′ 16″. Hierdurch berechnet sich das Verhältniss des Stabmagnetismus M zur horizontalen Componente des Erdmagnetismus

$$\frac{M}{T} = 2052900.$$

Die Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes wurde mit angehängten Gewichten bestimmt und gefunden

$$= 10.9963.$$

Der Torsionscoëfficient war = 0.00278. Nimmt man hiezu für das Trägheitsmoment das Mittel aus den beiden eben angeführten Werthen

89635500,

Digitized by Google

so ergiebt sich

$$MT = 7295600$$
$$M = 3870000$$
$$T = 1.885.$$

Diese Messungen wurden auf einem festen, in meinem Garten befindlichen Steine ausgeführt. Bei einer zweiten Messung in meinem Theilzimmer, welches sich unmittelbar unter meiner Werkstätte befindet, hatte sich ergeben

$$M = 3868000$$
$$T = 1.909.$$

Bestimmung der absoluten Declination.

Die Messungen wurden ebenfalls auf dem in meinem Garten befindlichen Steine ausgeführt.

Azimuth der Collimationslinse

vor der Umlegung $= 176^0\ 3'\ 0''$

nach der Umlegung $= 174^0\ 36'\ 45''$.

Azimuth der magnetischen Axe $= 175^0\ 19'\ 52''$.

Die wegen der Torsion des Aufhängungsfadens an diesem Azimuth anzubringende Correction war $+ 34'\ 54''$. Es ist demnach das corrigirte Azimuth des magnetischen Meridians

$$= 175^0\ 54'\ 46''.$$

Der Winkel der nach dem Jacobithurme gehenden Richtung gegen den astronomischen Meridian war bekannt; durch Einschneiden der Spitze dieses Thurmes ergab sich das wahre Azimuth des wahren Meridians

$$= 190^0\ 2'\ 54''.$$

Es ergiebt sich demnach für die westliche Declination der Werth

$$14^0\ 8'\ 8''.$$

Eine am andern Tage angestellte Messung hat ergeben

$$14^0\ 9'\ 11''.$$

Die Bestimmung der beiden hier angeführten Elemente des Erdmagnetismus, inclusive der Aufstellung des Instrumentes, nimmt einen Zeitraum von nicht mehr als $1^1/_4$ Stunde in Anspruch.

Da mir sehr daran gelegen war, ein Urtheil darüber zu bekommen, mit welcher Genauigkeit die astronomischen Bestimmungen auf Reisen zu verwerthen sind, so ersuchte ich den Director der hiesigen Sternwarte, Herrn Professor Kleinkerfnes, einige Bestimmungen mit

Digitized by Google

dem Instrumente vorzunehmen. Herr Professor Kleinkerfnes entsprach meinem Wunsche mit grosser Bereitwilligkeit und ich lasse hier wörtlich folgen, was derselbe mir brieflich mittheilt.

„Für solche Reisende, welche sich geographische Ortsbestimmungen zur Aufgabe gemacht haben, ist es gewiss von nicht zu verkennender grosser Bedeutung, die drei astronomischen Stücke: Zeit, Polhöhe und Azimuth mit einer einzigen Aufstellung, also uno tenore, nach möglichst expediter Methode, ermitteln zu können, besonders dann, wenn das Azimuth auch nachher noch bei einer Bestimmung der magnetischen Declination nöthig ist, zu kennen. Ihr Universal-Theodolith für Reisende, oder wie Sie das kleine, sehr compendiöse Instrument sonst nennen mögen, hat einen Verticalkreis mit zwei Nonien und einen sehr fein und gut getheilten Azimuthalkreis mit vier Nonien. Das Instrument eignet sich des Letzteren wegen, wie auch eine gleichsam im Fluge gemachte Beobachtung höchst befriedigend gezeigt hat, vortrefflich für die Bestimmung der genannten drei Stücke aus der Differenz der Azimuthen und der Zeiten, unter welchen zwei bekannte Sterne dieselbe Höhe erreichen. Damit es nun aber nicht nöthig sei, das Azimuth während des Durchganges des Sternes durch das Gesichtsfeld fortwährend zu verändern, um zu treffen, dass der Durchgang durch die fest eingestellte Höhe, der Zeit nach, mit dem Durchgange durch den Mittelfaden coincidire, mit anderen Worten, da es schwer zu erreichen, dass der Weg des Sterns die Mitte des Feldes trifft, musste ein Ring-Micrometer eingesetzt werden. Hiermit erreicht man noch den andern grossen Vortheil, dass künstliche Beleuchtung, welche der optischen Kraft des kleinen Fernrohrs bedeutenden Eintrag thun würde, ganz entbehrt werden kann und man eine viel grössere Auswahl an beobachtbaren Sternen erhält. Im Besitze des Ring-Micrometers lässt man, natürlich nach erfolgter Nivellirung des Instrumentes und nach Fixirung der Höhe, welche unveränderlich bleiben soll, zuerst mehrmals den einen, hernach ebenso den andern Stern mit nicht zu kurzen Sehnen, den Ring passiren, notirt die Zeiten und liest zu jeder Sehne den Horizontalkreis ab. Bei Kenntniss der Halbmesser des Ringes lernt man, ausser dem Durchgange durch die Mitte des Gesichtsfeldes, den Abstand der Sehne von derselben nördlich oder südlich kennen und kann den wirklichen Sternen nun andere mit um jenen Abstand geänderter Declination substituiren, welche die Mitte

Digitized by Google

des Gesichtsfeldes selbst passirt haben würden, aber ohne Aenderung des Stundenwinkels. — Die sehr geschmeidigen Formeln der Methode kann ich hier nicht ableiten, sondern nur ein Beispiel der Genauigkeit liefern, welche gewiss bei der geringen Vergrösserung des Fernrohrs ganz auffallend ist, besonders in Anbetracht der kurzen auf die Beobachtungen verwendeten Zeit.

Im Folgenden gebe ich das Rohmaterial in den uncorrigirten Antrittszeiten an die Kreise, den Austrittszeiten und den Azimuthen, beobachtet am 7. Juli 1872 bei α Aquilae und α Bootis. Wo blos zwei Zeiten, Eintritt und Austritt, angegeben, ist der Stern im innern Kreise nicht erschienen.

	Sternzeiten nach Hardy.	Azimuth.
	α Aquilae.	
Eintritt . . .	$17^h\ 1^m\ 3^s$	
„ . . .	2 47	$350^0\ 57'\ 58''$
Austritt . . .	6 26	
„ . . .	8 8	
	Süd.	
Eintritt . . .	12 31	$354^0\ 15'\ 48''$
Austritt . . .	15 28	
	Nord.	
	α Bootis.	
Eintritt . . .	$17^h\ 40^m\ 34''$	
„ . . .	43 10	$115^0\ 39'\ 2''$
Austritt . . .	44 38	
„ . . .	47 7	
	Nord.	
Eintritt . . .	50 30	$118^0\ 34'\ 22''$
Austritt . . .	52 31	

Die Halbmesser der Kreise wurden früher bestimmt zu $56'\ 42''$ und $35'\ 16''$. Hiermit und den bekannten Rectascensionen und Declination der Sterne ergiebt sich das zur Rechnung fertige Material.

Fingirte Declination für α Aquilae $+ 8^0\ 16'\ 47''$ } α Aquilae Uncor.: Stundenwinkel $- 2^h\ 35^m\ 16^s.7$.

Fingirte Declination für α Bootis $+ 20^0\ 1'\ 57''$ } α Bootis „ „ $+ 3\ 37\ 51\ .4$.

Digitized by Google

Differenz der Azimuthe . . $124^{0}\ 29'\ 49''$
„ „ Stundenwinkel $6^{h}\ 13^{m}\ 8^{s}.1$.

Die Rechnung liefert die wirklichen Stundenwinkel
für α Aquilae $-\ 2^{h}\ 31^{m}\ 8^{s}.6$
für α Bootis $+\ 3^{h}\ 41^{m}\ 59^{s}.5$.

Die Uhr-Correction also gleich
$+\ 4^{m}\ 8.1$
(in guter Uebereinstimmung mit dem Meridiankreise).

Die Polhöhe findet sich
$51^{0}\ 32'\ 9''$
statt $51^{0}\ 31'\ 48''$.

Der hier hervortretende Fehler von 21″ entschwindet der optischen Kraft des Instrumentes. Auf Reisen dürfte nur selten auf anderem Wege eine gleich grosse Genauigkeit bei so geringem Zeitaufwand erhalten worden sein. Die Azimuthe beider Sterne sind aus Stundenwinkel und Polhöhe nach bekannter Formel leicht zu berechnen; sie haben hier kein Interesse.

Wie Sie sehen, verdienen Instrument wie Methode grosses Zutrauen.

Göttingen, den 12. Juli 1872.

Gez. W. Kleinkerfnes.“

Digitized by Google

Ueber ein neues magnetisches Universal-Instrument.

Von

H. Wild.

(Hiezu Tafel XIV und XV.)

In meiner Abhandlung „Bestimmung der Elemente des Erdmagnetismus auf einer Reise von St. Petersburg nach Tiflis“ [1]) habe ich bereits erwähnt, dass ich meiner ursprünglichen Absicht gemäss nach der Rückkehr von dieser Reise Herrn Mechaniker Brauer dahier die Ausführung eines magnetischen Universal-Instrumentes übertragen hatte. Dieses neue Instrument sollte nämlich jener Absicht gemäss nicht blos das Inclinatorium und den magnetischen Theodolithen zur Bestimmung der Declination und der Horizontalintensität vereinigen, sondern auch ausserdem noch zur Anstellung der nothwendigen astronomischen Hülfsbeobachtungen wie Zeit- und Orts-Bestimmungen qualificirt sein. Bei den Angaben, welche ich Herrn Brauer zur Construction dieses Instrumentes machte, habe ich ausser theoretischen Betrachtungen auch die Erfahrungen mit berücksichtigt, welche ich auf jener Reise an dem in obiger Abhandlung beschriebenen kleinen magnetischen Theodolithen gemacht hatte. So entstand das Instrument, welches ich am 2. November 1871 der Akademie vorzustellen die Ehre hatte und das den seitherigen Beobachtungen zufolge Dank dem constructiven Talent des Herrn Brauer seine Aufgaben in der That in sehr befriedigender Weise löst.

Das neue magnetische Universal-Instrument ist in Tafel XIV Fig. 1 im Grundriss und in Tafel XV Fig. 1 in einer durch den Pfeil auf der erstern angedeuteten schiefen Seitenansicht je in der halben natürlichen Grösse dargestellt. Dasselbe besteht zunächst aus einem theo-

1) Repertorium für Meteorologie. Bd. I. S. 253. — Unser Repertorium Bd. VII. p. 199. C.

Digitized by Google

dolithartigen Winkelmessinstrument, dessen Horizontal- und Verticalkreis beide vermittelst der Verniere der eingedrehten Alhidaden direct 10″ ablesen und 5″ schätzen lassen. Die Horizontalaxe, an deren einem Ende der Verticalkreis sitzt, während am andern ein Gegengewicht und der Träger der beiden Microscope zur Beobachtung der Inclinations-Nadel befestigt sind, ist in der Mitte durch einen elliptischen Ring A unterbrochen, welcher an den Enden der längern Axe einerseits das Beobachtungsfernrohr B, anderseits die Röhre C mit Gegengewicht trägt. Der gabelförmige Träger der Horizontalaxe ist in ungefähr ein Drittel seiner Höhe durch eine Brücke D verbunden, welche seitlich noch zwei Fortsätze E und E' besitzt. In Schlitze der letztern zwischen Schrauben und gegenüberstehende Federhäuser kommen je nach der Lage der Horizontalaxe bald auf der einen, bald auf der anderen Seite die unteren Fortsätze der Klemme $F\,F$ der Horizontalaxe und des mit der Alhidade des Verticalkreises fest verbundenen Libellenträgers $G\,G$ zu liegen. Die Schraube g, gegen welche der Fortsatz des letzteren durch die Feder eingedrückt wird, lässt sich nur mit einem Dorn schwer drehen, da sie mit dem Niveau zur Fixirung des Nadirpunctes dienen soll; die Schraube f dagegen für die Klemme F ist ränderirt und dient so nach erfolgtem Anziehen dieser Klemme zur feinen Drehung der Horizontalaxe. Beschränkt man sich auf die bis jetzt erwähnten Theile und nimmt noch die auf die Horizontalaxe aufzusetzende Libelle Tafel XIV Fig. 2, Tafel XV Fig. 2 und 3 hinzu, so hat man ein astronomisches Universal-Instrument, mit welchem sich leicht in gewohnter Weise die nöthigen Zeit- und Ortsbestimmungen mit der erforderlichen Genauigkeit ausführen lassen. Das Fernrohr kann in seinen Lagern umgelegt und auch durchgeschlagen werden, wenn man die Röhre C vorher abschraubt.

Unter den magnetischen Theilen des Instrumentes erwähne ich zuerst das Inclinatorium, welches mit seinem Fusse H nach Belieben auf dem äussersten, ebenen Theile des Fortsatzes E oder E' vermittelst zweier Schrauben $h\,h$ befestigt werden kann. Die geschlitzte Säule k, welche im Innern der cylindrischen, seitlich durch Spiegelglasplatten verschlossenen Büchse I die Inclinations-Nadel trägt, ist nach unten quer durchbohrt, so dass auch die untere Spitze der Nadel bei der Verticalstellung durch diese Oeffnung beobachtet werden kann. Die 0,36 Millim. dicken Axen der 2,0 Gramm schweren und 113 Millim. langen Nadel liegen auf den wenig abgerundeten Kanten von Achat-

Digitized by Google

schneiden, welche an einer innersten festen Röhre befestigt sind. Zur Arretirung der Nadel dient eine zweite umgebende Röhre, welche von aussen durch Drehen des Ringes k wenig gehoben und gesenkt werden kann, und endlich dient eine dritte Röhre mit Kerben am oberen Rande zur Umkehr der Nadel um 180°, resp. Umlegen derselben auf ihrem Lager, was durch Heben und Drehen derselben vermittelst des Knopfes i unten geschieht. Die Stellung der Nadel wird mit zwei Microscopen L und L' beobachtet, die von zwei um die Büchse herumgehenden und an der Horizontalaxe befestigten Armen M und M' getragen werden. Dieselben drehen sich also gemeinsam mit dem Verticalkreis, und ihre Lage, und nach Einstellung des Kreuzungspunctes ihrer Faden auf die Spitzen der Nadel auch die dieser, ist daher an den Vernieren des ersteren abzulesen. Zur Balancirung des Apparats wird gegenüber dem Inclinatorium ein Gegenwicht N vermittelst der Schraube n am Fortsatze E der Brücke angebracht.

Für die Bestimmung der Declination wird auf der Brücke D der Apparat $P\,P'$ vermittelst der Schrauben p befestigt. Er besteht aus dem Fusse P, in welchem vermittelst des Hebels q ein Pinsel zur Beruhigung des Magneten gehoben werden kann, der kreisförmigen Platte O auf demselben, und dem in der Seitenansicht nur durch punctirte Linien angedeuteten Bügel Q, welcher die Röhre P' trägt. Von der mit einem Torsionskreise T versehenen Spitze dieser Röhre hängt der mit der Schraube S zu hebende oder zu senkende Faden herunter, an dem vermittelst eines geschlitzten Hakens s die Magnete aufgehängt werden. Durch den Schlitz dieses Hakens wird beim Transport zur Vermeidung einer Tordirung des Fadens ein von den Seitenwänden des Bügels gehaltener, federnder Stift t durchgesteckt. Zur Abhaltung des Luftzuges von Magneten wird die dünnwandige cylindrische Metallkapsel R auf die Platte O aufgesetzt und am Bügel Q durch die 2 Schrauben r befestigt. Dieselbe besitzt vorn und hinten zur Beobachtung des Magneten in der Kapsel zwei durch planparallele Glasplatten verschlossene kreisförmige Oeffnungen, und seitlich ist in ihrem Deckel das Thermometer U zur Bestimmung der Temperatur im Innern eingesetzt. Zum Anhängen an den Faden sind dem Apparat in einem besonderen Etui drei genau gleich schwere Stäbe mit Spiegel beigegeben, deren Construction aus Fig. 4 ersichtlich ist. Dieselben unterscheiden sich nur dadurch, dass bei dem einen, der zur Aufhebung der Torsion dient, der Stab aus Messing besteht, während er bei dem

Digitized by Google

zur Declinations-Messung bestimmten ganz aus magnetisirtem Wolframstahl besteht und endlich beim dritten zu den Ablenkungsbeobachtungen dienenden einen Stab aus Messing repräsentirt, der einen kleinen Magnetstab einschliesst, wie dies speciell Fig. 4 Tafel XIV zeigt. Die kreisförmige Scheibe *b* oberhalb des Spiegels ist für das Auflegen des Ringes Tafel XIV Fig. 3 zur Ermittelung des Trägheitsmoments des schwingenden Magneten bei der Intensitätsmessung bestimmt. Letzterer sowie alle Messingtheile dieser Spiegelhalter sind behufs grösserer Unveränderlichkeit vergoldet.

Derselbe Magnet, der zur Bestimmung der Declination dient, wird auch unmittelbar bei der Messung der Horizontal-Componente der erdmagnetischen Kraft zu den Schwingungsbeobachtungen benutzt. Die Beobachtung des schwingenden Magneten erfolgt ebenfalls mit dem auf die Unendlichkeit eingestellten Fernrohr, in dessen Gesichtsfeld wie bei der Declinations-Bestimmung das vom Magnetspiegel reflectirte Bild des durch ein Prisma *c* beleuchteten Fadenkreuzes neben dem direct gesehenen erscheint. Die Amplitude dieser Schwingungen wird an einer feinen, am untern Rande des Gesichtsfeldes angebrachten Theilung auf Silber bestimmt.

Für die Ablenkungsbeobachtungen wird dieser Magnet aus der Kapsel herausgenommen und an seiner Stelle der kleinere Magnet eingehängt. Er selbst kommt auf einen Träger mit Ausschnitten im Innern des seitlichen cylindrischen Gefässes *W* so zu liegen, dass er in gleicher Höhe mit dem kleinen Magnet in der Kapsel sich befindet und die Verlängerung seiner Axe den Mittelpunct des letztern treffen würde. Das Gefäss *W* ist doppeltwandig, innen verzinnt und mit einem ebenfalls doppeltwandigen Deckel versehen, so dass es für die Bestimmung des Temperatur-Coëfficienten mit kaltem oder warmem Wasser gefüllt werden kann. Die Temperatur des Magneten ist an dem durch den Deckel hindurchgehenden Thermometer *Y* abzulesen. Dieses Gefäss wird von dem durch zwei Oeffnungen des Trägers der Horizontalaxe hindurchgesteckten und durch die Schrauben *u* festgeklemmten, vierkantigen Stabe *V* getragen, auf dem sie sich vermittelst der Hülse *w* unmittelbar und durch die Klemme *x* mit Schraube *s* auch micrometrisch verschieben lässt. Ein Indexstrich an der vorderen Oeffnung der Hülse lässt die Entfernung des Centrums des Gefässes von der Verticalaxe des Instrumentes an dem in halbe Centimeter auf Silber eingetheilten Stabe ablesen. Als Gegengewicht und zugleich

Digitized by Google

zur Ermittelung der Inductions-Constanten des Schwingungs-Magneten ist auf der entgegengesetzten Seite des Stabes in analoger Weise das Gestell X befestigt. Es besteht dieses der Hauptsache nach aus zwei Platten y und y', welche in ihrem Centrum die Hülsen o und o' zur Aufnahme des letztern Magneten in verticaler Lage besitzen.

Das ganze Instrument mit den nothwendigen Zuthaten, wie Streichmagnete für das Inclinatorium, einem Etui mit 3 Nadeln für das letztere, einem Etui für die Thermometer, dem Etui mit den Spiegelmagneten und dem Ring, den Schraubenziehern, Staubpinseln etc. ist in einem Kasten aus Mahagoniholz von $0^m,77$ Länge, $0^m,44$ Höhe und $0^m,42$ Breite sehr gut verpackt. In einem zweiten Kasten aus Fichtenholz von $1^m,1$ Länge, $0^m,22$ Breite und $0^m,2$ Höhe ist das in Tafel XV unterhalb des Dreifusses noch angedeutete dreibeinige Stativ aus Holz und Messing für die Reise unterzubringen.

Ausser diesem Instrument bedarf man, wie wir gleich sehen werden, zur Ausführung aller nothwendigen Messungen nur noch eines Chronometers, unter der Voraussetzung freilich, dass ein für alle Male die Dimensionen des Ringes und sein Gewicht bereits bestimmt seien.

Da unser Instrument, wie schon oben bemerkt wurde, unter Weglassung der magnetischen Theile ein vollständiges Universal-Instrument repräsentirt, so können die Bestimmungen der Zeit, resp. Uhr-Correction, der geographischen Breite des Beobachtungsortes und des Azimuthes der für die Declinations-Messung verwendeten Mire nach irgend einer der üblichen Methoden ausgeführt werden. Auf Reisen, wo es darauf ankommt, rasch zum Ziele zu gelangen, und wo keine festen Postamente vorhanden sind, sondern das Instrument blos auf seinem Stativ aufgestellt werden muss, das also für einen unveränderten Stand nur während kurzer Zeit die nöthigen Garantieen darbietet, ist man deshalb für die Zeit- und Ortsbestimmungen auf die Sonne angewiesen, und es dürfte demgemäss folgender Gang der Beobachtungen zu empfehlen sein.

Einige Stunden vor Mittag werden zunächst zur Zeitbestimmung vermittelst des auf dem Dreifuss aufgestellten und gehörig nivellirten Instruments (ohne die magnetischen Theile) am Chronometer die Zeiten gemessen, wo der obere oder untere Sonnenrand durch Berühr-

Digitized by Google

ung des Horizontalfadens eine Reihe von (5—6) am Verticalkreise eingestellter Höhen einnahm. Dabei ist insbesondere das Niveau der Alhidade des letztern jeweilen auch genau abzulesen. Für diese Beobachtung wird ein rechtwinkliges Prisma mit Sonnenglas vorn am Ocular des Fernrohrs angesetzt.

Sodann stellt man zur Azimuth-Bestimmung den Verticalfaden des Fernrohrs auf die Mire ein und liest ausser dem Horizontal- und Verticalkreis auch noch beide Libellen ab, worauf das Fernrohr auf die Sonne gerichtet und fixirt wird. Man beobachtet nun in dieser Lage mit dem Chronometer die Zeit des Antritts des ersten Sonnenrandes an den Durchschnittspunct des Fadenkreuzes und notirt darauf sogleich die Stellung der Libellen und des Verticalkreises; nach Umkehr der Axen-Libelle, aber ohne Verstellung am Horizontalkreis, werden darauf dieselben Beobachtungen für den zweiten Rand der Sonne wiederholt und schliesslich noch die Verniere des Horizontalkreises abgelesen. Nunmehr wird das Fernrohr mit dem Verticalkreis in seinen Lagern umgelegt und nach passender Verstellung am Horizontalkreise in dieser neuen Kreislage eine ganz entsprechende Beobachtungsreihe angestellt. Endlich wird das Fernrohr wieder auf die Mire gerichtet und eine neue Ablesung an den Libellen, dem Verticalkreis und insbesondere am Horizontalkreise gemacht.

An diese Azimuth-Bestimmung schliesst sich nun am besten sogleich die Declinations-Messung an, indem man nach der letzten Einstellung des Fernrohrs auf die Mire und den entsprechenden Ablesungen am Horizontalkreise sofort den Apparat $P\,P'$ auf der Brücke befestigt, den Spiegel mit Messingstab — Torsionsstab — an den Faden hängt und nach Aufsetzung der Kapsel das vom Spiegel reflectirte Bild des Fadenkreuzes im Fernrohr beobachtet. Erscheint dasselbe in seiner Ruhelage noch innerhalb des Gesichtsfeldes des letztern, so ist dies ein Beweis, dass die Torsion des Aufhängefadens hinlänglich aufgehoben ist, und man kann sogleich den Spiegel mit dem grössern Magnet an Stelle des Torsionsstabes an den Faden hängen, wobei man die Vorsicht beobachten muss, während des Umhängens den Stift durch den Schlitz des Hakens durchzustecken. Es wird nunmehr durch Drehung um die Verticalaxe die Coïncidenz des Fadenkreuzes und seines Bildes vom Magnetspiegel hergestellt, der Horizontalkreis abgelesen und dasselbe wiederholt, nachdem man den Magnet um die Spiegelnormale um 180° umgedreht, d. h. mit der andern Oese am

Digitized by Google

Haken des Fadens angehängt hat und endlich nochmals den Magnet in die Lage zurückgebracht hat. Schliesslich stellt man nach Entfernung des Apparates $P\ P'$ wieder auf die Mire ein und macht eine letzte Ablesung am Horizontalkreis. Liegt die Mire nahezu im Horizont, so ist das letztere nicht nöthig, indem man dann dieselbe am Magnetspiegel vorbei beobachten kann, wenn man den Metalldeckel von der gegenüberstehenden Oeffnung der Kapsel entfernt.

Zur Bestimmung der Horizontal-Intensität haben wir zunächst nur nöthig, denselben Declinations-Magneten in Schwingungen zu versetzen und vermittels des Chronometers die Schwingungsdauer desselben in üblicher Weise zu bestimmen, indem man den Durchgang des reflectirten Fadenbildes am direct gesehenen Fadenkreuz im Fernrohr beobachtet. Wenn auch bei der ersten Amplitude das Gesichtsfeld des Fernrohrs vom schwingenden Magneten nicht überschritten wird, so können bei unserem Instrumente über 300 Schwingungen beobachtet werden, ehe die Amplituden zur Beobachtung zu klein werden. Eine Reduction der so unmittelbar erhaltenen Schwingungsdauer auf unendlich kleine Amplituden hat in diesem Falle gar nicht stattzufinden, und es kann daher die Beobachtung der Amplituden ganz unterbleiben. Man beobachtet daher nur vor und nach der Messung der Schwingungsdauer die Temperatur der Kapsel, resp. des schwingenden Magneten und stellt am Schluss der Messungen noch eine Bestimmung der Torsionskraft des Suspensionsfadens in gewohnter Weise an.

Es wird nunmehr der Schwingungsmagnet aus der Kapsel herausgenommen und an seine Stelle der kleine Magnet für die Ablenkungsbeobachtungen eingehängt. Darauf wird der Stab V mit den Apparaten W und X am Instrument befestigt und der erstere Magnet zur Ablenkung des kleinen in das Gefäss W eingelegt. Nachdem diese Ablenkungsbeobachtungen in bekannter Weise in zwei Hauptentfernungen der Magnete von einander und unter steter Notirung der Temperatur im Gefässe W ausgeführt sind, ist es gut, zum Schlusse der Intensitäts-Bestimmung nochmals die Schwingungsdauer des ablenkenden Magneten wie oben zu messen.

Zur Beobachtung der Schwingungsdauer war es nöthig, die optische Axe des Fernrohrs wieder auf den magnetischen Meridian einzustellen. Man kann daher bei dieser Lage des Instruments unmittelbar zur Inclinations-Messung übergehen, indem man den Stab V mit den

Digitized by Google

Zuthaten, den Apparat P P' und, wenn nöthig, auch das Fernrohr B und das Gegenwicht C entfernt und auf dem Vorsprung E' das Inclinatorium aufschraubt. Wenn die optische Axe des Fernrohrs vorher im magnetischen Meridian lag, so muss nach den Fundamental-Justirungen jetzt auch die Schwingungsebene der Inclinations-Nadel mit demselben zusammenfallen, und es können daher nach Einlegung der Nadel die Beobachtungen der Inclination in der üblichen Weise sofort ohne vorherige Aufsuchung des Meridians ausgeführt werden. Die Winkelmessung selbst erfolgt hiebei, wie schon oben bemerkt, am Verticalkreise, wobei die Libelle seiner Alhidade jeweilen mit abzulesen ist.

Alle diese Beobachtungen sind bequem in 3 Stunden, also etwa von 8—11 Uhr Vm. auszuführen, worauf man nach einer Erholungspause um die Mittagszeit selbst eine Breitenbestimmung durch Beobachtung von Circummeridianhöhen der Sonne ausführen kann. Es genügt hiezu, 5 bis 7 Höhen des oberen Sonnenrandes bei Kreis Links Vormittags und nach Durchschlagen des Fernrohrs und Umdrehen um 180° um die Verticalaxe ebenso viele des untern Sonnenrandes bei Kreis Rechts Nachmittags sammt den zugehörigen Uhrzeiten zu messen.

Nachmittags können in umgekehrter Reihenfolge dieselben magnetischen Messungen wiederholt werden, so dass man ungefähr um 4 Uhr wieder zur Zeitbestimmung durch Sonnenhöhen gelangt und dann zur Vereinfachung der Rechnung und Beobachtung die correspondirenden Höhen zu den am Vormittage beobachteten wählen kann. Oder man kann bei genügender Tageslänge auch erst wieder um 4 Uhr Nm. mit der Beobachtung der correspondirenden Sonnenhöhen beginnen und darauf die magnetischen Messungen genau wie am Vormittage folgen lassen.

Es ist somit ein Beobachter im Stande, mit dem neuen Instrumente und einem Chronometer im Laufe eines Tages ohne allzugrosse Anstrengung zwei vollständige Reihen magnetischer Messungen sammt Bestimmung der zugehörigen astronomischen Hülfsgrössen auszuführen.

Was die Berechnung der Beobachtungen sowie die letztern selbst in ihrem Detail betrifft, so verweise ich in dieser Beziehung auf meine mehrfach erwähnte Abhandlung im 1. Bande des Repertoriums für

Digitized by Google

Meteorologie, da für das vorliegende Instrument im Wesentlichen ganz dasselbe wie für jenes kleinere gilt.

Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Beobachtungen ist aber jedenfalls bei dem neuen Instrumente eine bedeutend grössere geworden und zwar aus folgenden Gründen.

Der Horizontalkreis mit seiner eingedrehten Alhidade gestattet mit voller Sicherheit 10″ direct abzulesen und sogar 5″ zu schätzen, was beim frühern Instrumente nicht der Fall war.

Diese grössere Genauigkeit der Winkelablesung ist aber zugleich für die Declinations-Bestimmung und die Ablenkungsbeobachtungen nicht mehr eine ganz illusorische, weil einmal die Möglichkeit einer vollständigen und sicheren Aufhebuug der Torsion des Aufhängefadens gegeben ist und sodann, weil das viel stärker vergrössernde Fernrohr auch eine sichere Coincidenz des Fadenkreuzes mit seinem reflectirten Bilde gestattet. Der letztere Punct insbesondere ist meinen Erfahrungen zufolge bisher bei der Construction magnetischer Theodolithen viel zu wenig berücksichtigt worden. Kleine schwach vergrössernde Fernröhren, wie man sie hiebei durchweg angewendet hat, erlauben, namentlich wenn der Magnet nicht ganz zur Ruhe kommt, sondern um die Gleichgewichtslage noch hin- und herschwingt, durchaus nicht eine Genauigkeit der Einstellung von 5 — 15″, wie sie z. B. S. 281 meiner Abhandlung zufolge bei den Ablenkungsbeobachtungen gefordert wird. Da aber des zwischen Ocular- und Fadenkreuz eingesetzten Prismas halber eine starke Ocular-Vergrösserung nicht möglich ist, so muss eben eine Objectiv-Linse von grösserer Brennweite gewählt werden[1]).

Auch die Abmessung der Entfernung der beiden Magnete bei den Ablenkungsbeobachtungen muss gemäss meinen Untersuchungen über den Einfluss der Beobachtungsfehler genauer ausgeführt werden, als man bisher anzunehmen pflegte. Demzufolge wurden auf dem bezüglichen Stabe feinere Striche auf Silber gezogen und die Einstellung des Index auf dieselben micrometrisch bewerkstelligt.

---

1) Ich halte diesen Umstand für so wichtig zur Erzielung einer grössern Genauigkeit bei den Intensitäts-Messungen, dass ich bereits einen Plan für ein durchaus verändertes magnetisches Universal-Instrument entworfen und Herrn Brauer zur Ausführung übergeben habe.

Digitized by Google

Ueber ein neues Variationsinstrument für die Vertical-Intensität des Erdmagnetismus.

Von

H. Wild.

(Mélanges Physiques et Chimiques de St. Pétersbourg, Tome VIII.)

Durch Einführung und Erfindung des Unifilar- und des Bifilar-Magnetometers mit Spiegelablesung hat Gauss die Beobachtungen der Variationen der Declination und der horizontalen Componente der erdmagnetischen Kraft auf einen so hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, dass dieselbe auch jetzt noch Nichts zu wünschen übrig lässt. Die Ermittlung dagegen der Variationen des 3ten Bestimmungselementes des Erdmagnetismus, sei es direct der Inclination, sei es der verticalen Componente der erdmagnetischen Kraft, bleibt bis auf die neueste Zeit mit einer verhältnissmässig grossen Unsicherheit behaftet.

In Folge dessen ist unsere Kenntniss von den Variationen der 3 Elemente der erdmagnetischen Kraft viel unvollkommener, als man gewöhnlich denkt, indem wir eigentlich blos diejenigen der Declination genügend und für sich allein kennen. Da nämlich die Variation der Inclination gar nicht oder doch nur sehr unsicher bestimmt ist, so geben uns auch die in so vollkommener Weise beobachteten Variationen der Horizontalintensität keinen sichern Aufschluss über die Veränderungen der Kraft des Erdmagnetismus. Nach der Relation:

$$H = K.\cos i,$$

wo H die Horizontalcomponente und K die ganze Kraft des Erdmagnetismus, endlich i die Inclination repräsentiren, hat man, da H mit diesen beiden letztern Grössen zugleich variabel ist,

$$dH = -K.\sin i.di + \cos i.dK,$$

so dass also eine beobachtete Aenderung dH der Horizontal-Intensität

Digitized by Google

ohne die Kenntniss der gleichzeitigen Aenderung der Inclination auch nicht auf die entsprechende Variation dK der ganzen Intensität schliessen lässt. Dass namentlich in höheren Breiten die Unkenntniss von di sehr störend sein kann, wird am besten folgendes Zahlenbeispiel zeigen. In St. Petersburg war im Jahre 1870

$$K = 4{,}93, \quad i = 70^{\circ}\,43'$$

und die mittlere tägliche Variation der Horizontal-Intensität betrug:

$$dH = \pm 0{,}0027.$$

Der obigen Formel zufolge ergiebt sich aber für die dieser Variation entsprechenden Aenderungen sowohl der Inclination als der ganzen Intensität je für sich:

$$di = \pm 2' \quad \text{und} \quad dK = \pm 0{,}00165,$$

wonach also in St. Petersburg einer Aenderung der Inclination um $2'$ eine solche der ganzen Intensität um $1\frac{1}{2}$ in der dritten Decimale in ihrem Einfluss auf den Werth der Horizontal-Componente äquivalent sind. Ohne eine zuverlässige Bestimmung der Variationen der Inclination wird also in der That der Schluss auf die Aenderungen der Intensität des Erdmagnetismus aus der beobachteten Variation der Horizontal-Intensität ganz illusorisch.

Das beste unter den gegenwärtig gebrauchten Instrumenten zur mittelbaren Bestimmung der Variationen der Inclination durch Beobachtung der Variationen der Vertical-Componente des Erdmagnetismus ist bei sorgfältiger Construction und gehörigem Schutz vor störenden äussern Einflüssen offenbar das Lloyd'sche Wag-Magnetometer[1]). Bei ihm hält der Wirkung der Vertical-Componente des Erdmagnetismus auf den Magneten, analog wie beim Bifilar-Magnetometer derjenigen der Horizontal-Componente, die constante Kraft der Schwere das Gleichgewicht. Soll aber die Lloyd'sche Wage dieselbe verhältnissmässige Empfindlichkeit wie das Bifilar-Magnetometer haben, so muss sie, wie schon Lloyd gezeigt hat, noch auf Wirkungen reagiren, welche einer Verschiebung des Schwerpunctes um blos ungefähr 0,000025 Millimeter entsprechen. Es ist nun kaum denkbar, dass sogar durch Anwendung einer Schneide die Reibung der Axe des Magnetstabes an ihrer Unterlage so gering gemacht werden könne

1) H. Lloyd, Account of the Magnetical Observatory of Dublin, Dublin 1842, p. 36.

Digitized by Google

und selbst wenn dies möglich wäre, so würde sich dieser Zustand zuversichtlich nicht halten und insbesondere auch bei einer Drehung der Schneide nur um wenige Grade diese Empfindlichkeit an verschiedenen Puncten dieser Bewegung sehr verschieden sich erweisen. Wir werden diese Ansicht in den weiter unten mitzutheilenden Beobachtungen bestätigt finden.

Dieses Uebelstandes halber hat Lloyd sein Wag-Magnetometer durch das Inductions-Inclinometer[1]) ersetzt, welches in wesentlich derselben Form in neuester Zeit auch von Lamont vielfach als Variations-Instrument für die Inclination angewendet worden ist. Nach der gründlichen Untersuchung indessen, welche W. Weber[2]) über die Principien dieses Instrumentes angestellt hat, erscheint es sehr gewagt, die beobachteten Variationen des Eisenmagnetismus bei demselben als einen sichern Maassstab für die Variationen des Erdmagnetismus zu betrachten, ja es wird die Gültigkeit dieser Voraussetzung noch zweifelhafter, wenn dem Instrumente die zur Erzielung einer genügenden Empfindlichkeit nöthige Einrichtung gegeben wird.

Von diesem Vorwurfe frei ist das von W. Weber angegebene Inductions-Inclinatorium, wo der Erdmagnetismus blos electrische Ströme in einem bewegten Drahtleiter inducirt. Für absolute Bestimmungen der Inclination ist wohl auch dieses Instrument das sicherste und zuverlässigste, für die Ermittlung aber der Varationen der Inclination erscheint die Beobachtung sowohl als die Berechnung zu complicirt und zeitraubend, auch eignet sich dasselbe gar nicht für Registrirungen und ist zur Zeit von Störungen ganz unbrauchbar.[3])

Gegen anderweitige Vorrichtungen endlich, die Variationen der Inclination zu beobachten, z. B. vermittelst grosser, um Schneiden drehbarer Inclinationsnadeln, deren Stellung entweder mit Micrometermicroscopen oder durch die Poggendorff-Gauss'sche Spiegelablesung

---

1) l. c. S. 43.

2) W. Weber, Magnetisirung des Eisens durch die Erde. Resultate aus den Beobachtungen des magnét. Vereins im Jahre 1841. S. 85.

3) Das in meinem Jahresbericht des physicalischen Central-Observatoriums vom Jahre 1869 erwähnte Variations-Inductions-Inclinatorium, welches Herr v. Kupffer seiner Zeit für das Observatorium hatte construiren lassen, kann, wie ich mich seither überzeugt habe, in seiner jetzigen Gestalt nicht gebraucht werden, da die Hauptaufgabe bei demselben, die nämlich, den Metallcylinder in eine genau gleichförmige Bewegung zu versetzen, nicht gelöst ist.

Digitized by Google

beobachtet wurde, lassen sich zum Theil ganz dieselben Einwände wie gegen das Wag-Magnetometer erheben.

Aus diesen Gründen habe ich mich schon zu der Zeit, wo ich anfing, mich mit magnetischen Messungen zu beschäftigen, bemüht, ein besseres Instrument zur directen oder indirecten Bestimmung der Variationen der Inclination zu construiren und auch bereits vor etwa 10 Jahren dahin gehende Versuche angestellt. Diese Frage trat bei der Uebernahme der Leitung der magnetischen Beobachtungen in unserm Observatorium aufs Neue in verstärktem Maasse an mich heran, und ich habe daher hier die Versuche zu ihrer Lösung in modificirter Weise wieder aufgenommen. Schliesslich bin ich, wie ich der Classe schon am 16. November des vergangenen Jahres mündlich mitzutheilen die Ehre hatte, bei folgender Modification des Lloyd'schen Wag-Magnetometers stehen geblieben, welche die Uebelstände des letztern ganz beseitigen dürfte, ohne die Vorzüge desselben aufzugeben.

Das neue Instrument zur Beobachtung der Variationen der Vertical-Componente der erdmagnetischen Kraft, das ich daher kurz Vertical-Magnetometer nennen werde, repräsentirt im Wesentlichen eine Lloyd'sche Wage, bei welcher statt der scharfen Kante einer Schneide zwei horizontal ausgespannte Drähte als Drehungsaxe dienen [1]). Dasselbe besteht aus zwei etwas conischen Messingröhren von ungefähr 1^m Länge und $0^m,06$ mittlerer Weite, welche auf die gegenüberstehenden Seiten eines Messingkastens von $0^m,13$ Weite und Höhe und $0^m,23$ Länge so aufgeschraubt sind, dass dadurch eine Art Doppelconus mit einem weiteren Gehäuse in der Mitte gebildet wird. Der 150^{mm} lange, 10^{mm} breite und 2^{mm} dicke Magnetstab ist bis etwas über die Hälfte in eine Messinghülse geschoben, die seitlich mit 2 Drahtklemmen versehen ist, und am äussern Ende eine Schraube mit Mutter zur Regulirung des Schwerpunctes besitzt. Am andern Ende des Magneten ist ein runder Planspiegel von 25^{mm} Durchmesser be-

1) Die Anwendung von Drähten als horizontale Drehungsaxe ist an und für sich nicht neu. Ich sah im Jahre 1854 bei Herrn Professor F. E. Neumann in Königsberg eine gewöhnliche Wage, bei welcher die Schneiden durch horizontal ausgespannte Drähte ersetzt waren und C. A. Steinheil benutzte schon 1844 (Abh. der Münchener Academie, Bd. IV. 1. S. 198) ebenfalls eine derartige Wage bei seinen Gewichtsvergleichungen.

Digitized by Google

festigt. Um den Magnet in seinem obigen Gehäuse aufzuhängen, wurde dieses zuerst so gestellt, dass die Axe der conischen Röhren vertical stand. Ein feiner Neusilberdraht, der vom obern Ende der obern Röhre herunterhing und dort im Centrum eines Torsionskreises befestigt war, wurde mit seinem untern Ende auf der einen Seite der Magnethülse eingeklemmt, während von der untern Klemme der letztern ein zweiter gleicher Neusilberdraht durch die untere Röhre frei herunterging und unten ausserhalb derselben durch ein frei hängendes Gewicht von etwa 0,5 Kilogramm gespannt war. Zur Beseitigung der Torsion der Drähte schob man nun an Stelle des Magneten einen gleich schweren Messingstab in die Hülse ein und drehte am obern Ende den Torsionskreis so lange, bis der Messingstab in seiner Ruhelage dieselbe relative Stellung im Gehäuse annahm, welche nachher der Magnetstab bei den Beobachtungen haben sollte. Nach Vertauschung des Messingstabs mit dem Magneten und Feststellung des untern Endes des freien Drahtes wurde jetzt der ganze Apparat in eine solche Lage gebracht, dass die Axe der Röhren horizontal im magnetischen Meridian lag und der Magnet in seinem Gehäuse, von den beiden Drähten gehalten, frei schwebte und um dieselben wie um eine horizontale Axe in einer Vertical-Ebene senkrecht auf dem magnetischen Meridian sich drehen konnte. Den Schwerpunct des Magneten mit seiner Hülse regulirte man endlich so, dass der letztere mit seiner Axe horizontal zu liegen kam und dabei also auch keine Torsion der Drähte stattfand.

Das Messing-Gehäuse wurde schliesslich ringsum verschlossen, und nur auf der Seite unmittelbar vor dem Spiegel eine Oeffnung gelassen, um durch diese mit Fernrohr und Scale die Stellung des letztern beobachten zu können. Seitlich sind noch zwei Thermometer zur Bestimmung der Temperatur des Magneten in die Wand des Gehäuses so eingesetzt, dass ihre Gefässe ganz nahe an den Magneten herankommen.

Das Vertical-Magnetometer wurde vorläufig im mittlern Saale unsers magnetischen Observatoriums in ungefähr 2^m Entfernung von dem Wag-Magnetometer des Adie'schen Magnetographen aufgestellt und ist seit dem 1. Januar 1872 regelmässig täglich 3 Male von den Beobachtern gleichzeitig mit den übrigen m gnetischen Instrumenten abgelesen worden. Da sich hierbei bald eine zu geringe Empfindlichkeit der genannten zwei Instrumente für die Vertical-Intensität ergab,

Digitized by Google

so wurde sie am 25. Januar bei beiden durch Erhöhung des Schwerpunctes bedeutend vermehrt.

Seither ist an denselben keine weitere Veränderung erfolgt. Der Ausschlag geschieht bei der Lloyd'schen Wage sowohl wie bei dem neuen Vertical-Magnetometer in der Art, dass eine Vergrösserung der abgelesenen Scalentheile einer Vermehrung der Vertical-Intensität entspricht.

Ehe wir die Resultate dieser Beobachtungen betrachten und vergleichen, werde ich ganz kurz die Theorie des neuen Instruments und die darauf sich stützenden Methoden zur Bestimmung des Werthes der Scalentheile desselben entwickeln.

Es sei M das magnetische Moment des Magnetstabes, G sein Gewicht, λ die Entfernung des Schwerpunctes von der Drehungsaxe und γ der Winkel, welchen die Verbindungslinie beider mit dem Nordende der magnetischen Axe des Stabes einschliesst, endlich V die verticale Componente der erdmagnetischen Kraft, so hat man, wenn der Magnet unserer Voraussetzung gemäss in der auf dem magnetischen Meridian senkrechten Verticalebene sich bewegt und bei horizontaler Stellung desselben die Torsion der Drähte Null ist, für die Horizontal-Lage die Gleichgewichtsbedingung:

1) $$MV = G\lambda \cos\gamma,$$

und bei einer Neigung des Nordpols der Magnetnadel um β unter den Horizont:

2) $$MV.\cos\beta = G\lambda\cos(\gamma+\beta) + D\beta,$$

wo D die in beiden Drähten zusammen durch Drehung um die Winkeleinheit entwickelte Torsionskraft darstellt.

Differentirt man die Gleichung 2., nach den Variabeln V und β, so kommt:

$$M\cos\beta\,.\,dV - MV\sin\beta\,.\,d\beta = -G\lambda\sin(\gamma+\beta)\,.\,d\beta + D\,.\,d\beta.$$

Die Division dieser Gleichung durch 2. gibt uns die gesuchte, einer Winkel-Drehung $d\beta$ des Magnetstabes entsprechende Aenderung dV der Vertical-Intensität in Bruchtheilen der letztern, nämlich:

$$\frac{dV}{V} = \left(\tang\beta + \frac{D - G\lambda\sin(\gamma+\beta)}{D\beta + G\lambda\cos(\gamma+\beta)}\right).\,d\beta.$$

Nehmen wir an, dass wir bei diesen Beobachtungen von der Horizontalstellung des Magneten als normaler Lage ausgehen, also in

Digitized by Google

der vorigen Gleichung: $\beta = 0$ setzen können, so vereinfacht sich dieselbe zu:

$$3) \qquad \frac{dV}{V} = A \,.\, d\beta = \left(- \operatorname{tang} \,.\, \gamma + \frac{D}{G\lambda \cos \gamma} \right) d\beta.$$

Da die Grössen λ und γ nicht unmittelbar zu bestimmen sind, so ist die Constante A empirisch zu ermitteln.

Heissen wir T die vom Einfluss der Torsion befreite Schwingungsdauer des Magneten, wenn derselbe um den magnetischen Meridian in einer Horizontalebene sich bewegt, so hat man die Bedingungsgleichung:

$$MH = \frac{\pi^2 N}{T^2},$$

wo H die horizontale Componente des Erdmagnetismus und N das Trägheitsmoment des Magneten darstellen. Unter Berücksichtigung aber der Relation:

$$H = V \operatorname{cotang} i,$$

und der Gleichung 1. geht obiger Ausdruck auch über in:

$$G\lambda \cos \gamma = \frac{\pi^2 N}{T^2} \cdot \frac{1}{\operatorname{cotang} i}.$$

Für die Schwingungsdauer T_1 aber des Magneten um die Horizontalstellung in einer auf dem magnetischen Meridian senkrechten Vertical-Ebene hat man die Gleichung:

$$D - G\lambda \sin \gamma = \frac{\pi^2 N}{T_1^2}.$$

Die Division dieser Gleichung und der vorigen gibt uns für die gesuchte Grösse A den Werth:

$$A = - \operatorname{tang} \gamma + \frac{D}{G\lambda \cos \gamma} = \frac{T^2}{T_1^2} \operatorname{cotang} i$$

oder es ist also:

$$\frac{dV}{V} = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \operatorname{cotang} i \cdot d\beta,$$

wo die Schwingungsdauern T und T_1 leicht zu beobachten und die Inclination i hinlänglich genau mit einem gewöhnlichen Inclinatorium zu bestimmen ist.

Eine zweite empirische Bestimmung der Constanten A des Vertical-Magnetometers besteht darin, dass man auf seinen Magneten einen

Digitized by Google

zweiten Hülfsmagneten ablenkend einwirken lässt, der in einer Entfernung E vertical und mit seiner Mitte in der Verlängerung der magnetischen Axe des erstern aufgestellt wird. Die Ablenkung β_1 des erstern aus der Horizontallage ist dann gegeben durch:

$$MV\cos\beta_1 = G\lambda\cos(\gamma+\beta_1) + D\,.\,\beta_1 + \frac{MM_1}{E^3}\cos\beta_1,$$

wo M_1 das magnetische Moment des Hülfsmagneten repräsentirt. Bringt man hierauf den Hülfsmagneten in eine ganz entsprechende relative Lage und in dieselbe Entfernung zu einem gewöhnlichen Unifilarmagnetometer, so wird der Winkel v_1, um welchen der Magnet des letztern aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, durch die Gleichung:

$$H\sin v = \frac{M_1}{E^3}\cos v$$

bestimmt. Aus diesen zwei Gleichungen folgt aber mit Berücksichtigung der Relation 1. und des Werthes von $H = V\,.\,\text{cotang}\,i$ schliesslich:

$$A = -\,\text{tang}\,\gamma + \frac{D}{G\lambda\cos\gamma} = \text{tang}\,v\,\text{cotang}\,\beta_1\,\text{cotang}\,i,$$

wobei wir der Kleinheit von β_1 wegen in der ersten Gleichung statt β_1 annäherungsweise $\sin\beta_1$ gesetzt haben.

Es ist somit auch:

$$\frac{dV}{V} = \text{tang}\,v\,.\,\text{cotang}\,\beta_1\,.\,\text{cotang}\,i\,.\,d\beta,$$

wo die Ablenkungen v und β_1 wieder direct zu beobachten und i mit dem Inclinatorium zu bestimmen ist.

Ist μ der Temperatur-Coëfficient des Magnetstabes und t_0 die Normaltemperatur, bei welcher obige Constanten-Bestimmung stattgefunden hat, so ist bei einer Temperatur t in vorstehendem Ausdruck noch eine Correction anzubringen, so dass man theoretisch hat:

$$\frac{dV}{V} = A\,.\,d\beta + \mu(t-t_0).$$

Da indessen durch ungleichförmige Ausdehnung der verschiedenen Theile des Instruments ausserdem noch eine Verrückung des Schwerpunctes erfolgen kann, so ist es besser, den Einfluss der Temperatur auf die Angaben des Instrumentes durch vergleichende Beobachtungen desselben bei verschiedenen Temperaturen ganz empirisch zu bestimmen.

Digitized by Google

Derartige Versuche beim neuen Instrumente haben ergeben, dass dasselbe übercompensirt sei, d. h. dass die Verrückung des Schwerpunctes durch die verschiedene Ausdehnung der Messinghülse mit ihrem Gegengewicht und des Stahlstabes mit dem Spiegel an seinem andern Ende (Südpol) in ihrer Wirkung auf den Stand der Magnetnadel grösser sei als der entgegengesetzte Effect, welcher die Zunahme des magnetischen Moments mit einer Abnahme der Temperatur und umgekehrt hervorbringt. Das Instrument wird nach einigen Versuchen leicht so abzuändern sein, dass schliesslich eine vollständige Temperatur-Compensation erlangt werden wird. Dieselbe Untersuchung zeigte, dass auch die Lloyd'sche Wage des Magnetographen übercompensirt sei, jedoch in einem viel geringern Grade.

Die Bestimmungen der Empfindlichkeit beider Instrumente nach der letzerwähnten der obigen Methoden, die auch bei der Lloyd'schen Wage in ganz gleicher Weise zur Constantenbestimmung dient, haben ferner ergeben, dass gleichen Veränderungen der Vertical-Intensität an der Scale der Lloyd'schen Wage 2,7 Male grössere Ausschläge entsprechen als bei der Scale des neuen Vertical-Magnetometers.

Mit Berücksichtigung dessen ergiebt nun ein Vergleich der Ablesungen an den beiden Instrumenten vom 25. Januar bis 3. März, dass im allgemeinen Gang und bei magnetischen Störungen, wie sie am 4. und 19. Februar, so wie am 1. März stattfanden, eine ganz befriedigende Uebereinstimmung der Angaben beider Apparate sich zeigte, dass aber die kleinern Variationen beim neuen Instrumente durchgehends viel grösser ausfielen und meistentheils denen der Lloyd'schen Wage gerade entgegengesetzt waren. Obschon dies unsere frühern Bemerkungen über die Fehlerquellen des letztern Instrumentes zu bestätigen scheint, so wäre es doch unter den obwaltenden Umständen noch voreilig, daraus den bestimmten Schluss ziehen zu wollen, dass das neue Vertical-Magnetometer in Fällen von Differenzen genauere Angaben mache. Dieses Instrument ist nämlich bei seiner gegenwärtigen Construction und Aufstellung noch mehrern Störungen durch äussere Einflüsse unterworfen, die bei der Lloyd'schen Wage des Magnetographen ausgeschlossen sind. Während das Gehäuse der letztern luftdicht verschlossen und so, sowie durch die Aufstellung in der Mitte des Saales, besser vor Staub, raschen Temperaturwechseln und Luftzug geschützt ist, musste der Beschränktheit des Raumes halber das neue Instrument nahe beim Ofen placirt werden und ist

Digitized by Google

zudem nicht genügend vor Luftströmungen und Staub bewahrt, da bei dem mehr provisorischen Apparat nicht nur die Oeffnung vor dem Spiegel unverschlossen blieb, sondern das Gehäuse auch sonst noch mancherlei Fugen und Ritzen besitzt. Ein Theil der Differenzen in den Angaben beider Instrumente kann also sehr wohl diesen störenden Einflüssen, wozu auch noch die zu kleine Entfernung beider zu rechnen ist, beigemessen werden.

Wie dem aber auch sei, so berechtigen jedenfalls die bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen vollkommen dazu, von dem neuen Vertical-Magnetometer eine bessere Lösung der an ein solches zu stellenden Anforderungen zu erwarten. Ich werde daher jetzt ein derartiges Instrument in vollkommenerer Weise ausführen lassen und demselben dann in dem Saale für directe magnetische Variations-Beobachtungen eine passende Aufstellung geben. Ueber den Erfolg unter diesen günstigeren Umständen soll seiner Zeit berichtet werden.

Digitized by Google

Photometrische Untersuchungen.

Von

M. C. Wolf.

(Almeida. Journal der Physique. 1872. Nr. 3.)

Um die bei den astronomischen Instrumenten, als den Fernrohren, Telescopen, Siderostaten nutzbar gemachten Lichtquantitäten zu messen, habe ich ein Photometer von sehr einfacher Construction in Anwendung gebracht, dessen Beschreibung ich für zweckmässig erachte, weil dasselbe leicht mit den Hilfsmitteln sich herstellen lässt, die sich in allen physicalischen Cabineten vorfinden.

Auf demselben Tische sind horizontal in gleicher Höhe zwei Colli-

Fig. 1.

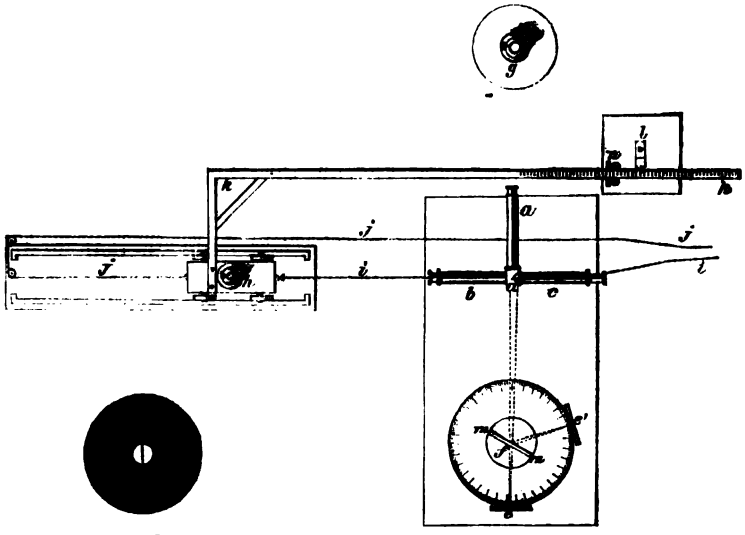


Fig. 2.

matoren *a* und *b* und ein Fernrohr *c* (siehe beistehende Fig. 1) befestigt, deren Objective die gleiche Focaldistanz von etwa 40 Centimeter besitzen. Nachdem man das Fernrohr auf Unendlich eingestellt

Digitized by Google

hat, regulirt man die Collimatoren der Art, dass man im Fernrohre deutlich die kleinen, halbkreisförmigen Oeffnungen sieht, die in den Metallplatten, welche die Collimatorrohre verschliessen, angebracht sind. Vor dem Collimator *b* und in der Verlängerung seiner Axe befindet sich eine Moderateurlampe *h*, die auf einen zwischen zwei auf einer Bank befindlichen Holzschienen beweglichen Schlitten aufgesetzt ist. Schnüre *i* und *j*, deren Enden der in das Fernrohr sehende Beobachter in der Hand hat, lassen eine Bewegung des Schlittens auf der Bank erzeugen und so die Intensität der Erleuchtung des halbkreisförmigen Diaphragmas am Collimator *b* erzielen. Eine zweite auf einem Stative aufgestellte Lampe *g* erleuchtet constant das halbkreisförmige Diaphragma des Collimators *a*.

Diese beiden Lampen sind Moderateurlampen nach dem Systeme Bernard mit Glascylindern ohne Einschnürung, eine für alle optischen Versuche sehr bequeme Einrichtung. Sie sind von Cylindern aus Pappendeckel umgeben, die ein kleines kreisrundes Loch in der Höhe der Mitte der Flamme tragen.

Das von der Lampe *g* kommende Strahlenbündel fällt, nachdem es durch das halbkreisförmige Diaphragma gegangen ist und das Objectiv des Collimators *a* parallel gemacht wurde, auf einen planen Glassilberspiegel *e* auf. Man regulirt diesen Spiegel der Art, dass er das Strahlenbündel auf ein Reflexionsprisma *d* reflectirt, welches vor dem Objectiv des Fernrohres *c* befestigt ist und die eine Hälfte desselben bedeckt. Das Auge sieht dann im Gesichtsfelde des Fernrohres gleich scharf und von derselben Grösse die Bilder der beiden halbkreisförmigen Diaphragmen der Collimatoren, welche man so regulirt, dass sie mit ihren geraden Seiten im Gesichtsfelde aneinanderstossen. Durch geeignete Bewegungen des Spiegels *e* und des Prismas *d* können sie zum Contact gebracht werden. (Fig. 2.)

Sind diese beiden Bilder so zusammengebracht, so besteht der Versuch darin, dass man ihnen durch Veränderung der Distanz der Lichtquelle *h* die gleiche Intensität ertheilt. Von allen photometrischen Methoden ist diese, wie mir scheint, nach zahlreichen Versuchen die sicherste und bequemste. Wenn die leuchtenden Bilder, deren gleiche Helligkeit das Auge schätzen muss, auf zwei Puncte im Gesichtsfelde reducirt werden, so ist diese Schätzung sehr schwierig. Das Urtheil muss in etwas ausgedehnten und ausserdem neben einander gelegenen Flächen geschehen. Man hat auch vorgeschlagen, das eine der Bilder

Digitized by Google

auf einen Punct zu reduciren, der auf die Mitte des von der veränderlichen Lichtquelle gleichförmig erleuchteten Gesichtsfeldes projicirt wird und die veränderliche Lichtquelle zu variiren, bis der kleine Stern verschwindet. Bei der Methode von Bouguer[1]) ist das Licht des Sternes in dem Momente, wo es im erleuchteten Gesichtsfelde verschwindet, ein constanter Bruchtheil der Intensität des hellen Grundes, gleich $1/64$. Allein alle diejenigen, welche die Sterne am hellen Tage oder bei Nacht mit erleuchtetem Gesichtsfelde des Fernrohres beobachteten, wissen, dass ein Stern, der vorerst nicht sichtbar ist, oftmals wahrgenommen wird, wenn das Auge genau den Ort kennt, an dem er sich befindet. Daraus folgt, dass wenn man bei einem photometrischen Versuche einen Stern in dem allmählig zunehmenden Lichte des Grundes zum Verschwinden bringen will, man dieses Licht mehr denn 64mal stärker als die Intensität des Sternes machen müsste, während, wenn der Versuch im entgegengesetzten Sinne ausgeführt wird, durch eine allmälige Abnahme der Erleuchtung des Gesichtsfeldes der Stern, dessen Ort nicht bekannt ist, nur dann verschwinden wird, wenn seine Intensität grösser als $1/64$ der Intensität des Grundes ist. Der directe Versuch hat mir gezeigt, dass die Abweichung zwischen den beiden so erhaltenen Resultaten sehr beträchtlich werden kann.

Zöllner hat gleichfalls sein Astrophotometer[2]) auf die Fähigkeit des Auges mit grosser Genauigkeit die Gleichheit der Erleuchtung von zwei nebeneinander stehenden Flächen begründet; allein er erhält diese, indem er die beiden Lichtbüschel auf das Objectiv auffallen lässt, so dass jeder derselben die Hälfte davon bedeckt; das Auge, das sehr nahe im Brennpuncte steht, sieht, ohne Ocular, das Objectiv in seiner ganzen Ausdehnung erleuchtet und es handelt sich darum, die Helligkeit der beiden Hälften gleich zu machen. Bei Anwendung dieses Verfahrens hat sich mir eine Schwierigkeit geboten, die in der Nothwendigkeit liegt, das Auge vollständig unbeweglich zu halten; wird die Pupille nach rechts oder links verrückt, so erhält sie nur einen Theil von einem der Strahlenbüschel, die entsprechende Hälfte des Objectives verdunkelt sich gleichförmig über ihre ganze Ausdehnung, so dass das Verhältniss der wahrnehmbaren Erleuchtungen je nach der Lage des

1) Bouguer, Essai d'optique pour la gradation de la lumière, p. 51.

2) Zöllner, Photometrische Untersuchungen. Leipzig 1865. Cfr. Repertorium, I, p. 187.

Digitized by Google

Auges veränderlich ist. Die Anwendung eines mit einem kleinen Loche versehenen Diaphragmas reicht nicht hin, diesen Missstand zu heben. Man kann, das ist richtig, das Auge fixiren, wenn man das Ocular an dem Fernrohre wieder anbringt und den ringförmigen Oculardeckel mit einem zweiten Oculare wie bei dem Dynameter von Ramsden anvisirt; allein diese Einrichtung macht die Regulirung der Richtung der Lichtbüschel sehr schwierig.

Ein von Zöllner bezüglich des von ihm angewandten Verfahrens bezeichneter Vortheil besteht darin, dass die zwei erleuchteten Flächen nebeneinanderliegen, ohne dass sich eine Beugungslinie dazwischen befindet, was nicht mehr stattfindet, wenn man die beiden reellen im Focus gelegenen Bilder nebeneinanderstellt. Die Berührung der beiden Flächen, sagt er[1]), ist so vollkommen, dass, bei Farbengleichheit der verglichenen Lichtmengen, dem Beobachter sich die eingetretene Gleichheit der Flächen durch eine optische Täuschung ankündigt, indem das Gesichtsfeld plötzlich vollkommen homogen wie eine leuchtende Scheibe erscheint. Bekanntlich, fügt Z. bei, ist dies beim Steinheil'schen Photometer nicht der Fall, indem hier die verglichenen Lichtflächen durch schmale Beugungslinien getrennt sind. Ich bekenne, dass ich die von Zöllner angegebene Erscheinung nie erhalten habe; andrerseits aber auch keine Schwierigkeit darin fand, die Gleichheit der Erleuchtung der beiden durch Beugungslinien getrennten Halbkreise zu schätzen. Eine Erscheinung anderer Art kann sehr gut dazu dienen, den Moment zu beurtheilen, wo die Gleichheit erhalten wurde. Es ist bekannt, dass, wenn man ein Object mit Hülfe eines Fernrohres betrachtet, das Bild dieses Objectes unaufhörlich von den confusen Bildern der Unreinheiten im Auge durchlaufen wird; in dem Momente, wo die beiden nebeneinander befindlichen Halbkreise die Gleichheit erreichen, scheinen diese darüber befindlichen Bilder ohne Schwierigkeit vom einen zum anderen zu gehen wie Oeltropfen, die auf einer vollkommenen Ebene hingleiten, während sie bis dahin, um mich so auszudrücken, getrennt auf den beiden Halbkreisen festgehalten wurden.

Man darf übrigens bei diesen Operationen die Position der beweglichen Lampe, für welche man die Gleichheit der Bilder bereits erhalten zu haben glaubte, nicht durch fortgesetzte Tatonnements zu

1) Loco citato p. 78 Note 2.

Digitized by Google

corrigiren suchen. Es ist hier wie bei allen feinen Einstellungen weit besser, sich an den ersten Eindruck zu halten und die Operation öfters zu wiederholen, um einen genauen Mittelwerth zu erhalten. Prüft man lange Zeit die beiden zusammengebrachten Bilder, so kann es manchmal vorkommen, dass man die Intensität des einen derselben sehr beträchtlich variiren kann, ohne dass das Auge davon etwas wahrnimmt; hat man dann nach langen Tatonnements eine scheinbare Gleichheit hergestellt, so verlässt man einen Moment das Ocular; bringt man nun das Auge wieder hin, so ist man erstaunt über die enorme Intensitätsdifferenz, an die sich das Auge gewöhnen konnte.

Bei einer Reihe von zehn Beobachtungen finde ich, dass die mittlere Abweichung der Position der Lampe von der mittleren Position bis zu 0,91 betragen kann, wobei die absolute Distanz 100 ist. Der wahrscheinliche Fehler einer Bestimmung dieser Position ist 0,77. Man sieht, dass ich die Gleichheit der Bilder mit einer Annäherung von etwa $^1/_{60}$ erhalte, was auch die allgemein angenommene Grenze der Genauigkeit ist.

Man muss bei diesen Versuchen darauf achten, dass jeder der beiden Lichtbüschel ganz in das Fernrohr gebracht werde. Um sich davon zu überzeugen, entfernt man das Ocular und überzeugt sich, ob man bei derselben Lage des Auges die ganzen Schnitte dieser beiden Lichtbüschel auf dem Objective wahrnimmt.

Da die in das Fernrohr gebrachten Strahlen bei ihrem Durchgange einen geometrischen Weg verfolgen, so hat man bei diesem Photometer nicht das Hinzutreten von Reflexen oder fremdem Lichte zu befürchten. Man muss nur mit der grössten Sorgfalt alles Licht zu vermeiden suchen, welches auf dem gleichen Wege wie die regelmässigen Strahlenbündel herkommen könnte, folglich die halbkreisförmigen Diaphragmen der Collimatoren, die Oberflächen der Spiegel oder diejenigen Medien, welche man auf das von der unbeweglichen Lampe kommende Strahlenbündel wirken lassen will, durch Schirme schützen. Bei meinem Apparate war der Tisch, welcher die Fernrohre trägt, vollständig mit einem ganz schwarzen Kasten bedeckt.

Operirt man ohne Gehilfen, so ist es bequem, die Theilung, an welcher man die Position der beweglichen Lampe abliest, in der Nähe des Oculares des Fernrohres anzubringen. Dazu dient der am Schlitten befestigte Maassstab k, welcher sich auf einem kleinen Tische zwischen den Rollen n vor einem Index l bewegt. Der Abstand der

Digitized by Google

Vorderseite der Flamme an der Lampe vom halbkreisförmigen Diaphragma am Collimator wird ein für alle Mal durch eine bekannte Position des Maasstabes *k* gemessen.

Bei den gewöhnlich angewandten Photometern erzeugt man die Variation der Intensität der einen Lichtquelle mittelst zweier Nicol'scher Prismas und misst diese Variation nach dem Gesetze vom Quadrate des Cosinus. Dieses Verfahren ist sehr bequem, wenn die Modificationen der Intensität, die man messen will, nicht von Polarisationsphänomenen begleitet sind; man setzt dann das zweite Nicol vor das Ocular des Fernrohres selbst und hat so den getheilten Kreis, welcher die Drehung dieses Prismas angibt, direct vor dem Auge. Da im vorliegenden Falle die Reflexion an den Spiegeln das Licht polarisirt, so hätte ich die beiden Nicols an den Collimator *b* bringen müssen und es wäre dann ein Gehilfe erforderlich gewesen, um das eine Prisma zu drehen und die Ablesungen aufzuzeichnen. Die Veränderung der Distanz der Lampe *h* war zweckmässiger und bot mir ausserdem einen Vortheil, welcher aus der Anordnung des Experimentes selbst hervorgeht.

Messen wir vorerst das Reflexionsvermögen eines ebenen versilberten Glasspiegels. Auf dem Tisch des Photometers wird ein Kreis von Pappe, der in Grade eingetheilt ist, befestigt. Der Spiegel *e* wird auf eine um den Mittelpunct *f* dieses Kreises bewegliche Alhidade aufgesetzt. Der Spiegel *mm*, dessen Reflexionsvermögen unter verschiedenen Einfallswinkeln man bestimmen will, wird vertical aufgesetzt, so dass seine spiegelnde Fläche durch denselben Punct *f* geht. Sodann führt man das Experiment in folgender Weise aus. Man nimmt *mm* weg, führt die Alhidade und den Hilfsspiegel nach *e* und stellt die beiden Bilder auf gleiche Helligkeit ein. Es sei *J* der Einfallswinkel, für den man das Reflexionsvermögen des Silbers messen will; man führt dann die Alhidade um ihren Spiegel *e'* herum bis sie einen Winkel *2J* mit der Richtung des aus dem Collimator *a* austretenden Strahlenbündels einschliesst, setzt den Spiegel *mm* auf und regulirt ihn bis man wieder die beiden Halbkreise nebeneinander erhält. Dann hat das von *g* kommende Lichtbüschel eine erste Reflexion an *mm* unter dem Einfallswinkel *J*, eine normale Reflexion an *e'* und eine zweite Reflexion an *mm* unter dem gleichen Winkel *J* erfahren. Seine Intensität differirt also von der bei der obigen ersten Beobachtung um den aus einer doppelten Reflexion an *mm* resultirenden Verlust.

Digitized by Google

Man stellt dann die beiden Bilder auf gleiche Helligkeit; die Aenderung in der Distanz der Lampe *h* gibt das directe Maass des Reflexionsvermögens des Spiegels ohne jede weitere Rechnung.

Um das Verhältniss des von zwei ebenen Spiegeln *a* u. *b* unter dem Einfallswinkel von 45° reflectirten Lichtes zu bestimmen, wenn die Einfallsebenen gegen einander gedreht werden, habe ich die aus Fig. 3 ersichtliche Anordnung getroffen. Der Spiegel *e* dient nur dazu, die Strahlen in sich selbst zu reflectiren. Man erhält die relative Veränderung der Einfallsebenen, wenn man *b* und *e* zusammen in Drehung versetzt, während *a* unbeweglich bleibt. Man findet so, dass der versilberte Glasspiegel sehr merklich das gewöhnliche Licht polarisirt; der aus dieser Polarisation folgende Lichtverlust beträgt 4 Procent, wenn die beiden Reflexionen bei rechtwinklig stehenden Reflexionsebenen stattfinden.

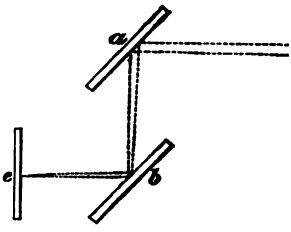


Fig. 3.

Ich glaube nicht, dass je ein Photometer angewendet wurde, um den Verlust direct zu messen, welchen ein Lichtbüschel beim Durchgange durch ein Objectiv erleidet. Die für diesen Verlust angenommenen Zahlen folgen aus Versuchen, die seit Bouguer an Planparallelgläsern angestellt wurden. Der geometrische Gang der Strahlen gestattet bei meinem Photometer ein Objectiv einzuschalten und zweimal das Licht durch dasselbe hindurch gehen zu lassen unter denselben Umständen, unter denen man das Objectiv benützt. Während der Hilfsspiegel bei *e* steht, bringt man das Objectiv in den Weg des Büschels paralleler Strahlen, so dass sein Brennpunct genau auf der reflectirenden Fläche des Spiegels steht.

Man kann dann nach einer Regulirung des Prismas *d* noch das Bild des halbkreisförmigen Diaphragmas vom Collimator *a* sehen und dieses Bild ist ebenso scharf und von derselben Grösse als wenn das Objectiv nicht existirte. Die Bedingung, dass der Brennpunct mit der Spiegelfläche zusammenfällt, wird erfüllt, wenn man das Bild zu einem Punct durch Verrücken des Objectives zusammenzieht.

Ich entnehme den Comptes Rendus der Academie der Wissenschaften, Sitzung vom 12. Februar 1872, die folgenden Resultate, welche ich beim Studium einiger Instrumente gefunden habe.

Ein Silberspiegel reflectirt einen nahe constanten Theil des einfallenden Lichtes, 0,935, welches auch der Einfallswinkel sein mag.

Digitized by Google

Das von zwei ebenen Spiegeln unter dem Winkel von 45° reflectirte Licht beträgt bei parallelen Reflexionsebenen 0,86, bei rechtwinklig zu einander stehenden Reflexionsebenen 0,82.

Die Quantitäten des bei den verschiedenen astronomischen Instrumenten nutzbar gemachten Lichtes sind, wenn man auf den Einfluss der Oculare keine Rücksicht nimmt, die folgenden:

Fernrohrobjectiv mit zwei getrennten Gläsern	0,80
Telescop mit Silberspiegel und Reflexionsprisma . . .	0,84
Siderostat von Foucault: ein ebener Spiegel und ein Objectiv	0,75
Apparat mit zwei ebenen Spiegeln und einem Objectiv von Loewy, wenn die Reflexionsebenen parallel stehen .	0,70
Derselbe Apparat, wenn die Reflexionsebenen senkrecht gegen einander stehen	0,67

Digitized by Google

Neuer Windrichtungs-Autograph.

Von

Prof. Schön in Brünn.

Oesterreichische Meteorologische Zeitschrift, 1872, Nr. 14.

(Hiezu Tafel XII Fig. 1—6.)

Ein Windrichtungs-Autograph hat die Aufgabe zu erfüllen, ununterbrochen die Windrichtungen zu verzeichnen der Art, dass unzweifelhaft die Richtungen, nach welchen der Wind zu bestimmten Zeiten wehte, erkenntlich gemacht sind.

Stellen auf einem Papierstreifen Fig. 5 Längen, gemessen nach der Längsrichtung des Streifens, gleichsam als Abscissen, die Angaben der Zeit dar und senkrecht darauf als Ordinaten die jedem Zeitaugenblicke entsprechende Windrichtung, so wissen wir, welche Windrichtung zu einer bestimmten Zeit statthatte, sobald uns der Längenmaassstab für die Zeitangabe bekannt ist und wir nach der Breitenrichtung des Streifens die jedem Richtungsgrade entsprechende Entfernung von einander ebenfalls kennen.

Der Papierstreifen Fig. 5 zeigt fünf Längslinien, beschrieben mit den Gradangaben 180^0, 270^0, 0^0, 90^0, 180^0, welche den bezüglichen Windrichtungen entsprechen. Es wird nicht schwer fallen, sich alle Zwischengrade hinzuzudenken oder statt der Grade auch Längslinien zu einander parallel gezeichnet vorzustellen, welche den Richtungsangaben Nord (0^0), Ost (90^0), Süd (180^0), West (270^0) und dann wieder Nord (360^0 oder 0^0) etc. entsprechen.

Sobald auf diesem Papierstreifen nur eine Marklinie gezeichnet wäre, z. B. die Linie 0^0, und man hat den Maassstab für die Entfernungen der Grade von einander, so ist für jede beliebige Zeitangabe die entsprechende Windrichtung angegeben.

Verzeichnet der Autograph ununterbrochen die Windrichtungen, indem er auf dem Papierstreifen die der Zeit und dem Richtungsgrade

Digitized by Google

entsprechenden Orte kennzeichnet, so entsteht durch die ununterbrochene Reihe der Verzeichnungen die Schaulinie der Windrichtungen, wie eine solche in Fig. 5 eingezeichnet ist.

Besehen wir nun diese Schaulinie der Windrichtungen, so sagt dieselbe, dass zu Beginn der Verzeichnung die Windrichtung jene von 0° war, dann allmälig nach Verlauf der Zeit, während welcher durch ein Uhrwerk der Papierstreifen der Länge nach von *a* Fig. 5 nach *b* verschoben wurde, diese sich änderte: 90° und endlich 180° wurde.

Da aber unsere Darstellung der Windrichtung Fig. 5 zweimal die Richtungsangabe 180° enthält, so erscheint auch auf der oberen Linie 180° in der Ordinatenlinie desselben Zeitaugenblickes die bezügliche gleiche Richtungsangabe b_1.

Die Schaulinie sagt uns, dass die Windrichtung sich sofort gewendet hat von 180° auf 270°, 360° oder 0°, dann weiter nach demselben Sinne auf 90°, 180°; da tritt nun eine Wendung der Richtung ein, der Wind blies von 180° rückgehend nach 90°, 0°, dann kehrte er sich wieder gegen 90°; schlug dann um in 90°, 0°, 270°, 180°; hierauf in die entgegengesetzte Richtung 180°, 270°, 0°; wechselt dann von 0° auf 270°, 270° auf 0° und schwankt hierauf in seiner Richtung von 0°, 270°, 180°, 90°, 0°, 360° ununterbrochen, wo dann wieder ein Umschlagen in die entgegengesetzte Richtung statthatte u. s. f.

Wir sehen, der Wind mag plötzlich oder allmälig die Richtung ändern, durch die vorgeführte Darstellung sind wir stets vollkommen unterrichtet über die Windrichtung in den verschiedenen Zeitaugenblicken.

An meteorologischen Anstalten, wo Anemometer mit Autographen verbunden für die Angaben von Windrichtung und Winddruck, Geschwindigkeit etc. vornehmlich erforderlich sind, wird man in Anbetracht der Winddruckmessung kräftige Windfahnen anwenden müssen, damit stets die Winddruckplatte gegen den Wind gerichtet ist und die Angabe des Winddruckes nicht zu klein erfolgt. In diesem Fall, wo eine Windfahne in Verwendung kommt, zeigt aber die Erfahrung, dass diese in Winkeln von über 90°, ja bis 180° umschlagen oder seitlich schwanken kann; daher die Angaben unter diesen Verhältnissen keine reine, stetige Schaulinie am Autographen sein wird, sondern eine Zickzack-Linie, aus deren mittleren Angabe die herrschende Windrichtung zu entnehmen ist.

Digitized by Google

Sobald ein Windrichtungs-Autograph in ähnlicher Weise die unzweifelhafte Angabe der Windrichtung für jeden Zeitaugenblick gibt, wie wir dieses bis nun in der Fig. 5 ersichtlich gemacht haben, entspricht er seinem Zwecke.

Unsere Vorrichtung nun, welche in der erwähnten Art die Windrichtung registrirt, besteht aus zwei Scheiben I und II, Fig. 1 und Fig. 6, welche auf der Drehstange *A* der Windfahne befestiget und excentrisch geformt sind.

Durch die Hülsen *h* und *H* stecken die Stangen *b* und *B* der Art, dass diese sich in den Hülsen *h* und *H* leicht vor und zurück schieben können, wodurch die Zeichenstifte *s* und *S*, an den Enden der Stangen *b* und *B* angebracht, der Verschiebung entsprechende vor- und rückgehende Bewegungen machen, welche, sobald einer der Stifte auf dem Papierstreifen *pp* aufruhet, daselbst diese Bewegungen durch eine rücklassende Spur einzeichnet.

Sind nun die Bewegungen des Stiftes übereinstimmend mit der Richtungsänderung des Windes und bewegt sich der Papierstreifen durch ein Uhrwerk dem Zeitablauf entsprechend, so ist die Aufgabe gelöst; es werden durch die Zeichenstifte Schaulinien gezeichnet werden, welche die Windrichtungen veranschaulichen.

Damit den verschiedenen Graden der Windrichtungen gemäss die Aufzeichnung durch die Stifte *s* und *S* erfolgt, sind die Stangen *b* und *B* mit kleinen Gleitrollen *c* und *C* versehen, welche mit den Stangen *b* und *B* innig in Verbindung stehen, um ihre Achse drehbar sind und durch die sich an die Hülsen *h* und *H* und die Ständer *f* und *F* stemmenden Federn stets an den Umfang der excentrischen Scheiben I und II gedrückt werden.

Schieben sich nun bei der Drehung der Windfahne allmälig verschieden grosse Radien der Scheiben I und II zwischen die Drehungsachse A und dem Umfange derselben, so wird nun durch die Längen-Zu- oder Abnahme dieser Radien der excentrischen Scheiben das anliegende Gleitröllchen und hiemit die Stange und die Zeichenspitze verschoben.

Eine solche excentrische Scheibe allein führt nicht zur gewünschten Lösung, um Verwechslungen in den Windrichtungsangaben vorzubeugen und eine klare Uebersicht durch die Schaulinie zu erhalten.

Der Zweck wird aber mit zwei solchen Scheiben erreicht, so dass der Scheibe I die Aufgabe zufällt, die Verschiebung der Zeichenspitze

Digitized by Google

zur Angabe aller Windrichtungen von 0^0 bis 180^0 zu bewerkstelligen, während durch die Scheibe II die Angaben für die Windrichtungen von 180^0 bis 360^0 oder 0^0 erfolgen.

Sobald ein Wind nach der Richtung 0^0 streicht, haben beide Spitzen die Angabe 0^0 zu machen; die Stangen b und B werden sich mit ihren bezüglichen Zeichenspitzen s und S in der Stellung für 0^0 in Mitte des Papierstreifens, wie es Fig. 4 zeigt, befinden müssen; daher wird auch an beiden Scheiben I und II ein gleich grosser Radius Figur 2, $A - 0^0$ und Fig. 3, $A - 0^0$ oder 360^0 zwischen die Drehungsachse und die Gleitröllchen getreten sein.

Verändert der Wind seine Richtung im Sinne gegen 90^0, so muss die Spitze s in dem Augenblicke, als 90^0 erreicht wird, in der entsprechenden Entfernung am Papierstreifen (Fig. 1 und 5) von 0^0—90^0 angelangt sein. Die Krümmung des Umfangsrandes der excentrischen Scheibe muss der Art angefertigt werden, dass proportional der Winkelbewegung die Verschiebung der Zeichenspitze stattfindet, so dass diese Verschiebung dann das doppelte Maass erreicht hat, sobald die Windrichtung 180^0 durch Verdrehung der Windfahnenachse A in demselben Sinne geworden ist.

Den Krümmungshalbmesser der Scheibe I für die Stellung 0^0 oder 360^0 gleich r angenommen, und die festgestellte Entfernung am Papierstreifen der Linien für $0^0 - 90^0 = 90^0 - 180^0 = a$ gesetzt, muss für die Stellung der Winkelangabe von 90^0 dann der Halbmesser gleich $r + a$ und für die Richtungsangabe 180^0 endlich gleich $r + 2a$ sein.

Während der Wind von der Richtung 0^0 diese Richtung verlassend in jene von 90^0 und 180^0 übergegangen ist, darf daher nur in der ersichtlich gemachten Art durch Verschiebung der Stange b die Spitze s registriren — die zweite Spitze S hat keine Angabe zu machen, da diese nur die Richtung 180^0 bis 360^0 zu registriren hat, welche, während der Wind die Richtung 0^0 bis 180^0 durchstreift, nicht zur Angabe gelangen.

Die Zeichenspitze S darf also den Papierstreifen nicht berühren; dieses wird dadurch erreicht, dass die Spitze S neben dem Papier durch Hebung des Armes B schwebend erhalten wird. Das Abheben der Spitze S von dem Papier ist bewerkstelliget, indem an dem Umfange der Scheibe II zwischen 0^0 und 180^0 ein Krämpenansatz K angebracht ist, Fig. 1, 3 und 6, welcher von der Unterfläche der Scheibe II von der Stelle für 0^0 an sich allmälig mit höherem

Digitized by Google

Rande abhebt und gegen 180° wieder niederer wird; bei der Stelle der Scheibe, welche 180° entspricht, mit deren Unterfläche zusammenfällt.

Am Ende des Stangenarmes B ist eine Gleitrolle D befestigt, welche unter die Scheibe, also auch unter diesen Krämpenrand K greift; hierdurch wird die Stange B nächst der Scheibe hinabgedrückt, da sich die von der Stange durchsteckte Hülse H um die Drehungsachse E unbeschadet einer gleichzeitigen Verschiebung der Stange B in dieser Hülse drehen kann, wodurch auf der entgegengesetzten Seite der Drehungsachse E die Spitze S entsprechend gehoben ist.

In der Stellung der excentrischen Scheibe für die Windrichtung 180° berührt, nachdem die Scheibenkrämpe K immer niederer geworden ist, das Röllchen D die Unterfläche der Scheibe II und in diesem Augenblicke kommt, nach vorhergegangener gehöriger Aufstellung des Apparates, auch wieder die Spitze S auf den Papierstreifen zu liegen. Diese Berührung wird am Papierstreifen p um die Grösse $2a$ links von 0° Linie (Fig. 1 und 5) stattfinden müssen; es wird daher der Krümmungshalbmesser für die Stellung 180° an der Scheibe II $r - 2a$ sein, damit die an den Scheibenrand anliegende Gleitrolle C und die mit ihr in innigem Verband stehende Stange B und Spitze S die Angabe 180° macht.

Während die Windrichtung sich von 0° allmälig auf 90° und 180° veränderte, zeichnete der Stift s durch die Verschiebung der Stange b mittelst der Scheibe I, auf dem Papierstreifen aufruhend, das bezügliche Stück Schaulinie, indem gleichzeitig durch ein Uhrwerk (Fig. 6) der Papierstreifen um die dem Zeitablaufe entsprechende Länge vorwärts gezogen wurde.

In dem Augenblicke, als die Windrichtung 0° war, berührte auch die Spitze S den Papierstreifen in der Linie 0°, der Krümmungshalbmesser der Scheibe II für die Stelle 0° war $A - 0° = r$. Im nächsten Augenblicke, als der Wind die Richtung von 0° gegen 90° nahm, begann der allmälig vorspringende Krämpenrand K der Scheibe II die Stange B bei D niederzudrücken, wodurch die Spitze vom Papier abgehoben wurde und auch abgehoben bleibt bis zu dem Augenblicke, als die Windrichtung 180° wird. Während dieser Zeit haben sich vor der Gleitrolle C die Radien von r bis herab zu $r - 2a$ vorbeibewegt, mithin hat die abgehobene, schwebende Zeichenspitze S auch gleichzeitig eine Verschiebung $2a$ gegen A erfahren: so dass die Spitze S im Augenblicke, wo die Windrichtung 180° ist, schon

Digitized by Google

mit der bezüglichen Verschiebung der Stange B genau in dem Abstand $2a$ links der 0° Linie den Papierstreifen in der Linie 180° berührt; in welchem Augenblicke für diese Windrichtung 180° dieses auch noch die Spitze s an der zweiten Linie 180° thut.

Denken wir uns nun den Wind seine Richtung fort über 180° hinaus bis 360° (oder 0°) verändern.

Die Gleitrolle D berührt nun den Unterrand der Scheibe II, die Spitze S bleibt am Papiere aufliegen und die Zeichenspitze wird vorgeschoben, bis sie auf der Linie 270° und endlich 360° oder die 0° Linie rückt, wobei sich vor die Gleitrolle C die Krümmungsradien der Scheibe II von $r - a$ bis r vorbeibewegten.

Der Stift s tritt unmittelbar nach Ueberschreiten der Windrichtung von 180° gegen 360° ausser Thätigkeit, da die Scheibe I an dem halben Umfange zwischen 180°—270°—360°, Fig. 2 und 1, ebenfalls mit einer nach unten vorspringenden Krämpe k versehen ist, welche von dem Puncte des Scheibenumfanges, der 180° entspricht, allmälig höher und dann bei 0° wieder in die Unterfläche der Scheibe I übergangen ist, wodurch während dieses Weges die Gleitrolle d niedergedrückt und der Stift s gehoben wird. Gleichzeitig hat die Stange b in der Hülse h unbehindert die Drehung um e eine Verschiebung, beziehungsweise eine rückgehende Bewegung um $2a$ erfahren, da durch die zwischen Hülse h und den Rollenständer f eingeklemmte Feder stets das dichte Anlegen der Gleitrolle c an dem Umfange der Scheibe I stattfand. Aus dem bisher Gesagten ergibt sich, dass während der herrschenden Windrichtungen von 0°—180° die Spitze s den Weg von der 0° Linie bis zur Angabe 180° am Papiere verzeichnet, während die Spitze S aber sogleich das Papier berührt und zu registriren beginnt, sobald der Wind innerhalb der Richtung 180° — 360° streicht, während dann wieder zur selben Zeit die Zeichenspitze s vom Papiere abgehoben ist.

Es mag also die Wendung der Windfahne eine beliebige sein, die beiden Zeichenspitzen werden in jedem Augenblicke die herrschende Windrichtung verzeichnen und hiermit wird dieser Windrichtungs-Autograph der gestellten Auforderung entsprechen.

Damit die Zeichenstifte mit dem nothwendigen Drucke auf dem Papierstreifen zeichnen, sind g und G längs den Stangen b und B verschiebbar und mittelst Klemmschräubchen feststellbar; ebenso sind die Zeichenstifte mittelst Schräubchen genau zu adjustiren. Die Dreh-

Digitized by Google

achsen *e* und *E* der Hülsen *h* und *H* sind in einen Ständer *M* eingelagert, welcher auf der Tischplatte *T* befestigt ist. Die Bewegung des Papierstreifens senkrecht auf die Verschiebungsrichtung der Stifte geschieht in bekannter Weise durch ein Uhrwerk.

Der beschriebene Windrichtungs-Autograph zeichnet ununterbrochen; seine Angaben oder Registrirungen sind genau und klar allen Windrichtungen entsprechend; nur in einem Falle kann er eine unzweifelhafte Angabe nicht geben, nämlich dann, wenn vollkommene Windstille herrscht, in welchem Falle die Schaulinie parallel läuft mit der Längsrichtung des Papierstreifens.

Herrscht Windstille, so bleibt die Windfahne in einer Richtung ruhen und der Autograph zeichnet fort diese Richtung, was zur Täuschung führen könnte, als ob während der Zeitdauer der Windstille ein Wind nach der bezüglichen Richtung ununterbrochen geweht hätte.

Sobald neben dem Windrichtungs-Autographen auch ein Druck- oder Geschwindigkeits-Autograph zeichnet, ist jeder Zweifel behoben; auch fällt es gar nicht schwer, dem beschriebenen Autographen die Einrichtung zu geben, dass er im Falle einer Windstille gar nicht zeichnet, wenn dies als nothwendig gefordert werden sollte; übrigens wird sich die Angabe einer Richtung bei Windstille immer von jener eines andauernd nach einer Richtung streichenden Windes unterscheiden, da die Schaulinie im ersten Falle eine gerade Linie, im zweiten Falle eine mehr weniger schwach gezackte sein wird.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Verticales Wagbalken-Galvanometer.

Von Bourbouze, Präparator für Physik an der Faculté des Sciences in Paris.

(Hiezu Tafel XII Fig. 7 u. 8.)

Bei der Construction des Apparates, den ich im Folgenden beschreiben will, habe ich mir zur Aufgabe gestellt, für ein grösseres Auditorium selbst die schwächsten Stromwirkungen bemerkbar zu machen, ohne die kostspielige Anwendung der Projectionen.

Den wesentlichen Theil des Apparates, der auf Tafel XII dargestellt ist, bildet ein magnetisirter stählerner Wagbalken AB (Fig. 7), der mit den verschiebbaren Massen m, m', m'' versehen ist. Die horizontale Lage dieses Wagbalkens kann immer mit Hilfe der Gegengewichte m, m' genau erhalten werden. Die Empfindlichkeit kann, wie bei den Präcisionswagen, durch Heben und Senken des Schwerpunctes variirt werden. In seiner Mitte trägt dieser Wagbalken einen langen verticalen Zeiger, welcher an einem getheilten Gradbogen die kleinsten Bewegungen erkennen lässt.

Der Wagbalken befindet sich im Innern einer grossen flachen Multiplicatorrolle (Fig. 8). Diese Anordnung gestattet eine continuirliche Wirkung, die ganze Amplitude der Ablenkung zu erhalten. Steht nun der verticale Zeiger genau auf dem Nullpunct, so bemerkt man, dass selbst die schwächsten Ströme, welche die Multiplicatorrolle durchfliessen, dem Wagbalken beträchtliche Bewegungen ertheilen können. Man kann sich eine Vorstellung von der Empfindlichkeit des Instrumentes machen, wenn ich bemerke, dass es durch eine sehr grosse Ablenkung den Strom anzeigt, den man erhält, wenn man einer Thermosäule die Hand nahe bringt; es eignet sich also für alle Vorlesungsversuche.

Digitized by Google

Bei der Aufstellung des Instrumentes ist es nicht erforderlich, dass die durch den Balken gehende Verticalebene mit dem magnetischen Meridiane zusammenfällt; es genügt, dass der Theil dieser Ebene, welcher den Südpol am Wagbalken enthält, einen Winkel kleiner als 90° mit dem südlichen Theile der Declinationsnadel einschliesst, welcher Bedingung man überall Genüge leisten kann.[1])

Ein electrischer Versuch.

Von F. Strehlke.

Bringt man zwei auf den Kugeln des Henley'schen allgemeinen Ausladers befindliche Phosphorstücke in gleiche Entfernung von einer Lichtflamme des isolirten Tischchens und setzt die Kugeln in Verbindung mit dem positiven und negativen Conductor einer mässig bewegten Electrisirmaschine bei schwachem Drucke der Reibzeuge, so brennt nach kurzer Zeit jedesmal der negative Phosphor, indem die für sich positive Flamme nach der negativen Kugel sich neigend diese stärker erwärmt. Befinden sich dagegen die beiden Phosphorstücke unter gleichen Umständen zwischen einem Stücke brennenden Phosphors, so brennt sehr bald der positive Phosphor. Zudem wirft sich die bis zur Decke des Zimmers reichende Wolke der phosphorigen Säure auch bei beträchtlicher Länge des positiven Conductors in Form eines verschwindenden Nebels an den Conductor und bildet an diesem eine Verbindung der Phosphorsäure mit dem Metall.

(Poggendorff's Annalen, 1872, Nr. 7.)

Gaiffe's neue galvanische Batterie.

Das Element erinnert in seiner Form an das von Callaud. Es besteht aus einem Gefässe, in das ein Stift aus Blei und ein Zinkstift eintauchen. Der Stift von Blei reicht bis auf den Boden des Gefässes,

---

1) Der Herausgeber hat dieses Galvanometer für seinen Hörsaal anfertigen lassen und ist damit in hohem Grade zufrieden; dasselbe ist durch dessen Physikalische Anstalt zu beziehen.

Digitized by Google

der Zinkstift ist blos halb so lang. Am Boden des Gefässes befindet sich eine Schichte von rothem Bleioxyd — Mennige —, die erregende Flüssigkeit ist Wasser, in dem 10% Salmiak gelöst sind. Die electromotorische Kraft dieser Kette beträgt etwa ein Drittel von der Bunsen'schen; ihr innerer Widerstand ist gering und wenig veränderlich, ihre Constanz ist sehr gross und die Kosten sind bei offenem Schliessungsbogen fast verschwindend.

(Comptes Rendus, 1872, 15. Juillet.)

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Kautschuk.

Von Stefan.

Herr Stefan hat einen Apparat construirt, der mit jedem Chronoscop, mag dieses für die Dauer der Erscheinung das Offen- oder Geschlossenhalten einer Batterie erfordern, verbunden werden kann und die Messung der bezeichneten Grösse gestattet. Der mit einer Kautschukschnur gefundene Werth der Schallgeschwindigkeit ist 46 Meter. (Wiener Academ. Anzeiger, 1872, Nr. XV.)

A. v. Obermayer. Ueber das thermoëlectrische Verhalten einiger Metalle beim Schmelzen.

Herr Obermayer hat die electromotorischen Kräfte von Eisen-Zinn, Eisen-Blei, Eisen-$PbSn_3$, Eisen-Zink, Kupfer-Zink und Eisen-Wismuth Elementen beim Schmelzen des leichtflüssigen Bestandtheiles mit Kupfer-Neusilber Elementen bei einer Temperaturdifferenz der Löthstellen von 100° C. nach der Compensationsmethode verglichen. Aus den Versuchen geht hervor, dass die electromotorische Kraft der genannten Elemente während des Schmelzens und Erstarrens nahezu denselben Werth habe und keine sprungweise Aenderung erleide.

(Wiener Academ. Anzeiger, 1872, Nr. XVII.)

Digitized by Google

Untersuchungen über die Theorie und Praxis des Wagebarometers.

Von

Paul Schreiber.

(Hiezu Tafel XVI und XVII.)

Einleitung.

Unter allen Arten der Registrirbarometer scheinen sich jene immer mehr Eingang zu verschaffen, welche nach dem Princip der Wagebarometer construirt sind.

Ein Wagebarometer ist ein Gefässbarometer, bei dem Gefäss und Rohr gegen einander beweglich sind. Es lässt dies verschiedene Modificationen zu, man kann das Gefäss und das Rohr durch Gegengewichte balanciren und hat so beide beweglich; man kann aber auch das Gefäss oder das Rohr fest, dagegen den anderen Theil durch irgend welche Vorrichtung beweglich machen.

Eine Uebersicht über die Eigenthümlichkeiten einer jeden dieser Modificationen, sowie eine Geschichte der Registrirbarometer überhaupt, giebt Radau in dem 3. Bande des Repertoriums für physikal. Technik von Dr. Ph. Carl 1867 und in Poggendorff's Annalen Bd. 133.

Bei der Mehrzahl der angewandten Instrumente, wie sie in Rom, Zürich, Bern, Leipzig, Petersburg etc. ausgeführt und in Thätigkeit sind, ist die Einrichtung wesentlich folgende:

Das Barometerrohr hängt an einem Wagebalken, der einen langen, biegsamen, mit einem Schreibstift versehenen Arm trägt. Vor dem Stift wird entweder ein Papierstreifen vorbeigezogen, oder ein mit Papier umwickelter Cylinder gedreht. In bestimmten Intervallen

Digitized by Google

schlägt ein Hammer auf den Stift und drückt ihn gegen das Papier; der Hammer wird entweder durch eine Uhr (Leipzig) oder einen Electromagneten (Bern etc.) bewegt.

Eine nähere Beschreibung dieser Instrumente findet man im Repertorium f. phys. Technik Bd. 2, worin Wild das Berner Instrument beschreibt, und Bd. 7, worin sich die Beschreibung des Petersburger Instrumentes befindet. Die Beschreibung des Leipziger Instrumentes mit Abbildung ist in den „Resultaten aus den Meteorologischen Beobachtungen etc. von Dr. C. Bruhns“ 1867 VI. Jahrgang gegeben.

Man bekommt so bei allen diesen Instrumenten eine Reihe von Puncten, deren Abstand von einer Horizontalen gemessen wird. Hat man zu mehreren bestimmten Zeiten ein Heberbarometer abgelesen, so wird man diejenigen Ordinaten der Registrircurve finden, welche den abgelesenen Barometerständen entsprechen. Die Mittel dieser Ordinaten und der Barometerstände geben die genaueren Werthe desjenigen Barometerstandes, der einer bestimmten Ordinate entspricht. Man bildet nun die Differenzen zwischen den abgelesenen Ordinaten und der mittleren Ordinate und setzt diese nach der Formel

$$\Delta b = a \Delta y$$

in Bewegungen einer Quecksilbersäule um. Die Constante a muss aus mehreren Vergleichungen des Registririnstrumentes mit dem Heberbarometer hergeleitet werden.

Man addirt dann die Δb zu dem, der mittleren Ordinate entsprechenden Barometerstande und bekommt die auf 0° reducirten Barometerstände.

In der nachfolgenden Arbeit stellte ich mir die Beantwortung folgender Fragen zur Aufgabe. Dieselben sind:

1) Lässt sich das Wagebarometer zu directen Ablesungen und absoluten Bestimmungen practisch gebrauchen?
2) Welches sind die Fehlerquellen der Angaben des Wagebarometers?
3) Welche Ausdrücke lassen sich für die Fehler ableiten und wie kann man die Ablesungen am Wagebarometer davon befreien?
4) Was ergiebt sich aus den Untersuchungen für eine Theorie der Construction des Wagebarometers und welche practischen Regeln?

Digitized by Google

5) Wie kann das Wagebarometer am besten gleichzeitig zu directen Messungen und Registrirungen angewendet werden, so auf den meteorologischen Stationen das Heberbarometer vermieden und ein einziges Instrument zu absoluten- und Differentialmessungen benutzt werden?

Zur Prüfung der Beantwortung dieser Fragen baute ich mir an der Königl. Höheren Gewerbschule zu Chemnitz, nachdem mir dazu von dem Director derselben Herrn Prof. Böttcher freundlichst die Erlaubniss ertheilt war, unter gütiger Hilfe meines verehrten Lehrers Herrn Prof. Weinhold, ein Wagebarometer, dessen einzelne Theile genau bestimmt und dessen Bewegungen mit dem Kathetometer messend verfolgt wurden. Ich verglich so die Bewegung des Barometerrohres mit den Angaben eines guten Greiner'schen Heberbarometers und mit den Längen der Quecksilbersäule im Wagebarometer, welche mit dem Kathetometer gemessen wurden.

I. Theil.

Theoretische Untersuchungen.

I. Allgemeine Theorie des Wagebarometers.

In Figur 1 stellt AAB ein beliebig gestaltetes Barometerrohr dar. Dasselbe ist durch ein Gewicht F balancirt, taucht in ein Gefäss EFG, welches mit Quecksilber bis EF gefüllt ist, und es steht die Quecksilberkuppe im Rohr bis CD.

Wir untersuchen zuerst die Frage: „Wie schwer ist das Rohr, oder: wie gross muss das Gegengewicht F sein?“

Rings um die Röhre wirkt der Luftdruck, er ist überall im Gleichgewicht, mit Ausnahme einer einzigen Stelle, wo der Gegendruck fehlt. Es ist dies die Fläche, welche dem Querschnitt ab im Innern des Rohres gegenüberliegt, und deren Projection auf den Horizont so gross wie dieser Querschnitt ist. Bezeichne ich den Flächeninhalt von ab mit V, den Barometerstand mit b, das specifische Gewicht des Quecksilbers mit s, so lastet der Luftdruck auf der Röhre mit einem Gewicht Vbs und es ist dies Gewicht gleich dem der Quecksilbersäule $abcd$. Nun ist aber nicht nur diese Säule $abcd$ gehoben, sondern mehr oder weniger Quecksilber. Steht dieses um $abcd$ herum, so hat jedes Element der Röhrenwandung einen verticalen Druck auszuhalten, der

Digitized by Google

gleich dem Gewicht der über ihr liegenden Quecksilbersäule ist. Es wirkt so auf die Röhre: ihr eigenes Gewicht, der Luftdruck mit einem Gewicht gleich dem der gehobenen Quecksilbersäule $abcd$ und das Gewicht des um diese Säule herumstehenden Quecksilbers, so dass man sagen kann: F muss gleich dem Gewicht der Röhre plus dem Gewicht der gehobenen Quecksilbermasse gemacht werden. Verjüngt sich die Röhre nach oben, so hat ebenfalls jedes Element einen Druck auszuhalten, gleich dem Gewicht einer Quecksilbersäule so hoch, als die Flüssigkeit über ihr steht und von einer Basis, gleich der Projection dieses Elementes auf den Horizont. Dieser Druck geht aber nach oben und wirkt in demselben Sinne wie F, so dass man das Gewicht der Quecksilbermasse, die durch die Röhre gewissermaassen von dem Cylinder $abcd$ abgeschnitten wird, von dem Gewichte dieses Cylinders abziehen muss, um die Grösse F zu erhalten.

Man kommt also zu dem Resultate:

„Die Röhre wird nach unten gezogen mit einer Kraft: gleich ihrem eigenen Gewicht, vermehrt um das Gewicht der ganzen gehobenen Quecksilbersäule."

Dieser Kraft wirkt nun noch der Auftrieb entgegen, den das in das Quecksilber eingetauchte Röhrenstück erfährt. Die Grösse dieses Auftriebes ist aber gleich dem Gewicht des durch das Rohr verdrängten Quecksilbers.

Ich nehme nun an, die innere Oberfläche der Röhre sei gegeben durch die Gleichung

$$C'D' = \frac{1}{s} f(u),$$

worin $C'D'$ einen inneren Querschnitt der Röhre in der Entfernung u von dem Ende AA derselben darstellt, und s das specifische Gewicht des Quecksilbers ist. Steht der Spiegel im Gefäss von einer festen Ebene OO um y, das Ende des Rohres AA um x, die Kuppe im Rohre von AA um c, ab, so bekommen wir das Gewicht des ganzen gehobenen Quecksilbers ausgedrückt durch das bestimmte Integral

$$s \int_{y-x}^{c} \frac{1}{s} f(u)\, du = \int_{y-x}^{c} f(u)\, du.$$

Der äussere Querschnitt $C''D''$ der Röhre in der Entfernung w von AA sei nun

Digitized by Google

$$C''D'' = \frac{1}{s}\psi(w),$$

so wird das Volumen des eingetauchten Rohres sein

$$\int_0^{y-x} \frac{1}{s}\psi(w)\,dw - \int_0^{y-x} \frac{1}{s}f(u)\,du.$$

Multipliciren wir dieses Volumen mit dem specifischen Gewicht s des Quecksilbers, so bekommen wir den Auftrieb:

$$\int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - \int_0^{y-x} f(u)\,du.$$

Ich bezeichne nun das Gewicht der Röhre, mit den ganzen zur Aufhängung nöthigen Vorrichtungen, mit

$$Aufh$$

und bekomme die Gleichung für F zu:

$$F = Aufh + \int_{y-x}^{c} f(u)\,du + \int_0^{y-x} f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw$$

$$= Aufh + \int_0^{c} f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw.$$

Ich will die daraus entstehende Gleichung

$$\text{I.} \qquad Aufh + \int_0^{c} f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - F = 0$$

mit dem Namen „Erste Hauptgleichung oder Ruhegleichung" bezeichnen. Ihr Inhalt spricht sich kurz folgendermassen aus:

Gleichgewicht findet statt, wenn das Gewicht des Rohres, plus dem des ganzen im Rohr befindlichen Quecksilbers, minus dem, des durch das als massiver Körper gedachte, in das Quecksilber eingetauchte Rohrstück, verdrängten Quecksilbers, gleich dem Gegengewicht F ist.

Der Querschnitt $E'F'$ des Troges soll nun eine Function seines Abstandes v von der festen Ebene OO sein, und zwar sei

$$E'F' = \frac{1}{s}\varphi(v).$$

Der Trog enthält dann bis EF eine Quantität Quecksilbers, deren Gewicht folgendes ist:

Digitized by Google

$$\int_{y_1}^{y} \varphi(v)\, dv .$$

Jetzt können wir das Gewicht S des ganzen im Apparat befindlichen Quecksilbers angeben. Wir finden

$$S = \int_{y_1}^{y} \varphi(v)\, dv + \int_{0}^{c} f(u)\, du - \int_{0}^{y-x} \psi(w)\, dw .$$

Ich bezeichne die Gleichung

$$\text{II.} \qquad \int_{y_1}^{y} \varphi(v)\, dv + \int_{0}^{c} f(u)\, du - \int_{0}^{y-x} \psi(w)\, dw - S = 0$$

mit dem Namen: „Zweite Hauptgleichung oder Gewichtsgleichung".

Wie man sieht, sind die beiden Hauptgleichungen ganz ähnlich denen von Radau (Poggendorff's Annalen Bd. 133) und Handl (Dr. Alois Handl, Theorie des Wagebarometers, Repert. f. physik. Technik von Carl, 1870, Bd. 6 und Wiener Sitzungsberichte, 1869, I), nur sind sie von jeder Berücksichtigung der Temperatur frei und enthalten den Auftrieb, den das Rohr in der Luft erfährt, nicht.

Den Auftrieb in der Luft führt Handl sogar variabel, je nach der Temperatur der Luft, dem Barometerstand etc. ein. Nun ist der Auftrieb aber an und für sich schon sehr klein gegen sämmtliche Gewichte, die hier in Betracht kommen. Trotzdem kann er bei einem sehr grossen Instrument mit sehr empfindlicher Wage wenigstens bemerkbar werden; aber die Veränderung dieses Auftriebes wird unter allen Umständen zu vernachlässigen sein. Es fragt sich sogar, ob nicht die Verdichtung von Wasserdampf etc. an der Oberfläche des Rohres einen weit grösseren Einfluss hat und ob es überhaupt möglich ist, die zur Rechnung nöthigen Constanten am Instrument mit solcher Schärfe zu bestimmen, dass hier auf Zehntel Gramm Rücksicht genommen werden muss. 1000^{cc} Luft wiegen bei 0^0 und 760^{mm} Luftdruck 1.3 Gramm, also $1/10500$ von dem Gewicht eines gleichgrossen Volumen Quecksilbers. Demnach würde ein Cylinder Luft von 1^m Höhe und 0^m1 Radius nur 31 Gramm wiegen, und der Auftrieb, den das Rohr meines Wagebarometers erfährt, ist im Maximum 0.3 Gramm.

Demnach glaube ich von dem Auftrieb in der Luft vollständig absehen zu können.

Wir fanden folgende Gleichungen, von denen ich jetzt ausgehen will:

Digitized by Google

$$1 \quad \begin{cases} \text{I.} & Aufh + \int_0^c f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - F = 0 \\ \text{II.} & \int_{y_1}^{y} \varphi(v)\,dv + \int_0^c f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - S = 0. \end{cases}$$

Hierin sind S und $Aufh$ constante Gewichte; F das veränderliche Gegengewicht der Röhre, $f(u)$, $\varphi(v)$, $\psi(w)$ Querschnitte, die mit dem specifischen Gewicht des Quecksilbers multiplicirt sind, also Gewichte von Quecksilbersäulen mit den Höhen 1 und den Basen $\frac{f(u)}{s}$, $\frac{\varphi(v)}{s}$, $\frac{\psi(w)}{s}$.

Ich will die unbestimmten Integrale mit den grossen Buchstaben der Functionszeichen bezeichnen und bekomme

$$\int_0^c f(u)\,du = F(c) - F(0); \qquad \int_0^{(y-x)} \psi(w)\,dw = \Psi(y-x) - \Psi(0);$$

$$\int_{y_1}^{y} \varphi(v)\,dv = \Phi(y) - \Phi(y_1).$$

Dies giebt die Hauptgleichungen I und II zu:

$$2 \quad \begin{cases} \text{I.} & Aufh + F(c) - F(0) - \Psi(y-x) + \Psi(0) - F = 0 \\ \text{II.} & \Phi(y) - \Phi(y_1) + F(c) - F(0) - \Psi(y-x) + \Psi(0) - S = 0. \end{cases}$$

Hierin ist c eine Function des Luftdruckes. Den Barometerstand hatten wir mit b bezeichnet; gehen wir jetzt auf die Figur 1 zurück, so bekommen wir sofort:

$$b + y = c + x$$
$$c = b + y - x.$$

Aendert sich nun b um db, so ändern sich auch y und x um dy und dx, es ändert sich F um dF. Durch Differentiation unserer Hauptgleichungen 2 nach c, y, x und F bekommen wir aber:

$$dF(c) - d\Psi(y-x) - dF = 0$$
$$d\Phi(y) + dF(c) - d\Psi(y-x) = 0$$

oder

$$3 \quad \begin{cases} f(c)\,dc - \psi(y-x)\,d(y-x) - dF = 0 \\ f(c)\,dc - \psi(y-x)\,d(y-x) + \varphi(y)\,dy = 0 \end{cases}$$

und es ist hierin

$$c = b + y - x \qquad dc = db + dy - dx.$$

Die Gleichungen 3 gelten für unendlich kleine Variationen. Geht

Digitized by Google

man nun von einem bestimmten Luftdruck b_0 aus, bei welchem man die Werthe y_0, x_0, F_0 durch Beobachtung gefunden hat und lässt den Luftdruck auf b steigen, so wird man die Gleichungen 3 integriren müssen, um die neuen Werthe von y und x finden zu können. Man erhält dann

$$\text{III.} \quad \begin{cases} \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - \int_{y_0-x_0}^{y-x} \psi(y-x)\,d(y-x) - \int_{F_0}^{F} dF = 0 \\ \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - \int_{y_0-x_0}^{y-x} \psi(y-x)\,d(y-x) + \int_{y_0}^{y} \varphi(y)\,dy = 0 \end{cases}$$

$$c_0 = b_0 + y_0 - x_0 \qquad c = b + y - x.$$

Ist hierin F eine Function der Bewegung der Röhre, also

$$F - F_0 = \text{Function}\,(x - x_0),$$

so enthalten die Gleichungen III nur die Unbekannten y und x. Man wird die Gleichungen für diese Unbekannten auflösen können und bekommt dann die Bewegung der Röhre ξ und die Bewegung des Spiegels im Trog η zu

$$\xi = x - x_0, \qquad \eta = y - y_0.$$

Ich will das System III die „Bewegungsgleichungen" nennen.

Damit ist die Theorie im allgemeinen erledigt, ich will mich zu einigen Anwendungen davon wenden. Zunächst bekommt man, wenn man die Gleichungen III von einander subtrahirt, eine einfache Gleichung:

$$\int_{y_0}^{y} \varphi(y)\,dy + \int_{F_0}^{F} dF = 0.$$

Oder wenn $F - F_0 = \Delta F$ gesetzt wird

$$\text{IV.} \qquad \int_{y_0}^{y} \varphi(y)\,dy = -\Delta F.$$

Ich werde diese Gleichung später wieder gebrauchen.

Um nun einen etwas complicirteren Fall zu behandeln, denke ich mir folgende Form des Apparates. In Figur 2 ist AB die Röhre deren Flächen durch zwei parallele Kreiskegel dargestellt werden. EFG ist der Trog dessen innere Fläche ein Kreiskegel von derselben Oeffnung, wie die vorigen ist. Ist der Radius der inneren Röhrenfläche in der Entfernung u von $A = r$, so ist

Digitized by Google

$$r = au.$$

Der entsprechende Radius der äusseren Fläche sei r_1 und sei um a_1 grösser als r, so dass

$$r_1 = a_1 + aw.$$

Schliesslich sei der Radius des Troges in der Entfernung v von OO an ϱ und es wird, wenn OO durch G geht,

$$\varrho = av$$

sein. Demnach bekommen wir

$$f(u) = sa^2u^2\pi \qquad \psi(w) = s(a_1 + aw)^2\pi \qquad \varphi(v) = sa^2v^2\pi$$
$$f(c) = sa^2c^2\pi \quad \psi(y-x) = s\{a_1 + a(y-x)\}^2\pi \quad \varphi(y) = sa^2y^2\pi$$

und die Bewegungsgleichungen sind folgende:

$$sa^2\pi\int_{c_0}^{c} c^2\,dc - sa_1{}^2\pi\int_{y_0-x_0}^{y-x} d(y-x) - 2aa_1\pi s\int_{y_0-x_0}^{y-x}(y-x)\,d(y-x)$$
$$- a^2\pi s\int_{y_0-x_0}^{y-x}(y-x)^2\,d(y-x) - (F-F_0) = 0$$

$$sa^2\pi\int_{c_0}^{c} c^2\,dc - sa_1{}^2\pi\int_{y_0-x_0}^{y-x} d(y-x) - 2aa_1\pi s\int_{y_0-x_0}^{y-x}(y-x)\,d(y-x)$$
$$- a^2\pi s\int_{y_0-x_0}^{y-x}(y-x)^2\,d(y-x) + a^2\pi s\int_{y_0}^{y} y^2\,dy = 0.$$

Die Integrationen lassen sich alle ausführen und man bekommt, nachdem die ganzen Gleichungen mit $s\pi$ dividirt worden:

$$\begin{cases} \frac{1}{3}a^2(c^3-c_0{}^3) - a_1{}^2\{(y-x)-(y_0-x_0)\} - aa_1\{(y-x)^2-(y-x)^2\} - \\ \qquad - \frac{1}{3}a^2\{(y-x)^3-(y_0-x_0)^3\} - \frac{F-F_0}{\pi s} = 0 \\ \frac{1}{3}a^2(c^3-c_0{}^3) - a_1{}^2\{(y-x)-(y_0-x_0)\} - aa_1\{(y-x)^2-(y_0-x_0)^2\} - \\ \qquad - \frac{1}{3}a^2\{(y-x)^3-(y_0-x_0)^3\} + \frac{1}{3}a^2\{y^3-y_0{}^3\} = 0. \end{cases}$$

Löst man diese Gleichungen dritten Grades für x und y auf, indem man $F-F_0$ als eine Function von $(x-x_0)$ darstellt und $c = b+y-x$ setzt, so erhält man das gesuchte Resultat.

Ich will nicht weiter darauf eingehen, sondern begnüge mich damit, gezeigt zu haben, wie sich die Formeln III anwenden lassen und

Digitized by Google

wie auch bei verhältnissmässig einfachen Körpern die Gleichungen sehr complicirt werden.

Bei meinem zweiten Beispiel sei der Trog, sowie die äussere Fläche der Röhre cylindrisch. Demnach ist $\varphi(v) = E$; $\psi(w) = B$ und die Gleichungen III gestalten sich folgendermassen:

$$\left\{\begin{array}{l} \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - \int_{y_0-x_0}^{y-x} B\,d(y-x) - (F-F_0) = 0 \\ \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - \int_{y_0-x_0}^{y-x} B\,d(y-x) + \int_{y_0}^{y} E\,dy = 0 \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - B\{(y-y_0)-(x-x_0)\} - (F-F_0) = 0 \\ \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc - B\{(y-y_0)-(x-x_0)\} + E(y-y_0) = 0. \end{array}\right.$$

Setze ich hier $x-x_0 = \xi$; $y-y_0 = \eta$; $F-F_0 = \Delta F$, so bekomme ich

$$\text{V.}\quad \left\{\begin{array}{l} \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc + B\xi - B\eta - \Delta F = 0 \\ \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc + B\xi + (E-B)\eta = 0 \end{array}\right. \qquad c = (b+y-x).$$

Ich werde auch diese Formeln später gebrauchen und wende mich zu dem lezten und wichtigsten Beispiel. Es sei auch das Innere der Röhre cylindrisch, also $f(c) = C$; $\psi(y-x) = B$; $\varphi(y) = E$. Dieser Fall bedarf einer näheren Specialisirung, da die Gleichungen, welche ich jetzt entwickeln werde, das Fundament für die ganze folgende Untersuchung bilden werden.

Die Gleichungen III zeigen, dass es bei der Bewegung des Barometerrohres nur auf die Gestalt derjenigen Theile ankommt, welche von den Quecksilberkuppen berührt werden. Es wird so nur die Gestalt des Stückes der Röhre, welches von der Kuppe der gehobenen Quecksilbersäule berührt wird, ebenso nur die Gestalt des Theiles des Troges an dem der Spiegel spielt, und nur die äussere Fläche des unteren Röhrenstückes, welche in das Quecksilber eintaucht, in Betracht zu ziehen sein.

Demnach betrachte ich folgende Einrichtung des Barometers: Fig. 3.

Digitized by Google

Das Quecksilber steigt im Rohr von dem Minimum c' bis zu dem Maximum c''. Dieser Raum ist streng cylindrisch. Der innere Theil unter c' kann dann beliebig gestaltet sein.

Oben schliesst sich das Aeussere der Röhre der inneren Gestalt an und nimmt nur unten, so weit sie in das Quecksilber eintauchen kann, die Gestalt eines Cylinders an. Dieser Cylinder kann einen grösseren, kleineren oder gleichen Durchmesser mit dem ersteren haben.

Der Trog ist auch nur von dem höchsten Stand y'' an, den das Quecksilber haben kann, bis zu dessen niedrigstem Stand y' cylindrisch und zwar sehr weit, während er unterhalb y' sich in eine Röhre verwandelt, die gerade Spielraum genug für die Barometerröhre hat.

Man sieht, dass diese Einrichtung, da die Theorie, wie später gezeigt werden wird, grosse Querschnitte des Troges und der Kammer verlangt, auf Ersparniss des Quecksilbers hinausläuft.

Unter der Kammer versteht man den Spielraum der Kuppe der Quecksilbersäule, also das Stück der Röhre von c' bis c''.

Unsere Hauptgleichungen waren nun folgende:

$$\begin{cases} \text{I.} & A u f h + \int_0^c f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - F = 0 \\ \text{II.} & \int_{y_1}^{y} \varphi(v)\,dv + \int_0^c f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - S = 0. \end{cases}$$

Dieselben lassen sich auch folgendermassen schreiben:

$$\begin{cases} \text{I.} & A u f h + \int_0^{c'} f(u)\,du + \int_{c'}^{c} f(u)\,du + \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - F = 0 \\ \text{II.} & \int_{y_1}^{y'} \varphi(v)\,dv + \int_{y'}^{y} \varphi(v)\,dv + \int_0^{c'} f(u)\,du + \int_{c'}^{c} f(u)\,du - \int_0^{y-x} \psi(w)\,dw - S = 0. \end{cases}$$

Setzt man

$$\int_0^{c'} f(u)\,du = Hg \quad \text{und} \quad \int_{y_1}^{y'} \varphi(v)\,dv = G,$$

so sind dies die Gewichte der Quecksilberquantitäten, welche die Röhre bis zum Querschnitt c' und der Trog bis y' fasst. Diese Gewichte sind constant, und so können wir die Hauptgleichungen schreiben

Digitized by Google

$$\begin{cases} Aufh + Hg + \int_{c'}^{c} f(u)\,du - \int_{0}^{y-x} \psi(w)\,dw - F = 0 \\ Hg + G + \int_{y'}^{y} \varphi(v)\,dv + \int_{c'}^{c} f(u)\,du - \int_{0}^{y-x} \psi(w)\,dw - S = 0. \end{cases}$$

Innerhalb der Grenzen, die jetzt bei den Integralen vorkommen, sind die Functionen $f(u)$, $\varphi(v)$, $\psi(w)$ nach unserer Voraussetzung constant; setzen wir

$$f(u) = C \qquad \psi(w) = B \qquad \varphi(v) = E,$$

so bekommen wir, wenn wir die Integration ausgeführt denken,

$$\begin{cases} Aufh + Hg + C(c-c') - B(y-x) - F = 0 \\ Hg + G + E(y-y') + C(c-c') - B(y-x) - S = 0 \end{cases}$$

und daraus, indem $c = b + y - x$

$$\text{VI.} \begin{cases} Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)x + (C-B)y - F = 0 \\ Hg + G - Ey' + C(b-c') - (C-B)x + (E+C-B)y - S = 0. \end{cases}$$

Nach den Gleichungen III bekommen wir ferner die Bewegungsgleichungen

$$\begin{aligned} C(c-c_0) - B\big((y-x) - (y_0-x_0)\big) - (F-F_0) &= 0 \\ C(c-c_0) - B\big((y-x) - (y_0-x_0)\big) + E(y-y_0) &= 0; \end{aligned}$$

setzen wir $(c-c_0) = (b-b_0) + (y-y_0) - (x-x_0) = \Delta b + \eta - \xi$, also $y - y_0 = \eta$, $x - x_0 = \xi$, $b - b_0 = \Delta b$ und $F - F_0 = \Delta F$, so wird

$$\text{VII.} \begin{cases} C\Delta b + (C-B)\eta - (C-B)\xi - \Delta F = 0 \\ C\Delta b + (E+C-B)\eta - (C-B)\xi = 0. \end{cases}$$

ΔF hängt hierin von dem Modus der Aufhängung ab. Es wird zu Null werden, wenn das Gegengewicht constant, wenn also das Rohr an einem geradlinigen Hebel aufgehangen ist.

In diesem Fall ist

$$\begin{cases} C\Delta b + (C-B)\eta - (C-B)\xi = 0 \\ C\Delta b + (E+C-B)\eta - (C-B)\xi = 0 \end{cases}$$

und man bekommt daraus,

$$\eta = 0; \qquad \xi = \frac{C}{C-B}\Delta b; \qquad \Delta b = \frac{C-B}{C}\xi.$$

Da $\eta = 0$, bleibt bei jeder Bewegung des Rohres das Niveau im Trog vollständig ungeändert. Die Bewegung des Rohres ξ ist aber

Digitized by Google

eine lineare Function der Variation des Luftdruckes Δb. Je nach dem Verhältnisse von C und B wird der Coëfficient von Δb

$$\frac{C}{C-B} = \frac{1}{A}$$

verschiedene Werthe haben. Für $C > B$ ist A grösser als Null; A geht durch Null in das Negative hinüber, wenn $C = B$ und $C < B$ wird. Dies giebt folgendes Resultat für ξ. Ist $C > B$, so bewegt sich das Rohr nach Oben, wenn der Luftdruck steigt. Die Bewegung geht bis in das Unendliche fort, wenn $C = B$ ist; die Bewegung des Rohres ist nach Unten gerichtet, wenn der Luftdruck zunimmt, sobald $C < B$ ist. Machen wir uns den Vorgang klar, der stattfindet wenn wir bei constantem Luftdruck die Röhre um dx aus ihrer Gleichgewichtslage bringen.

Die Ruhegleichung lehrt uns das Gewicht der Röhre kennen, wenn letztere sich im Gleichgewicht befindet; dasselbe ist Seite 256 VI

$$F = Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)x + (C-B)y.$$

Ist nun F, das Gegengewicht, constant und die Röhre befindet sich um dx aus ihrer Gleichgewichtslage, so wird sie wiegen

$$F + dG = Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)(x+dx) + (C-B)y$$

und wir erhalten

$$\underline{dG = -(C-B)\,dx.}$$

Für den Fall $C > B$ wird, wenn dx positiv, die Röhre also nach oben sich aus der Gleichgewichtslage befindet, dG negativ sein. Das heisst aber weiter Nichts, als die Röhre wird leichter. Demgemäss kann sie nicht in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren, sondern muss sich immer mehr davon entfernen.

Für $C = B$ wird $dG = 0$, die Röhre bleibt also stehen wo sie ist.

Endlich wird $dG > 0$, wenn $C < B$; dann sinkt die Röhre und kehrt nach ihrer Gleichgewichtslage zurück.

Ist dx negativ, so wird im ersten Fall die Röhre schwerer und muss also immerfort sinken. Im zweiten Fall bleibt sie ruhig stehen und im dritten Fall hat sie die Bewegungsrichtung nach ihrer Gleichgewichtslage zu.

Wir haben also dreierlei Gleichgewicht bei unserem Instrument, es ist

Digitized by Google

$$\left.\begin{array}{l}\text{stabil}\\ \text{indifferent}\\ \text{labil}\end{array}\right\} \text{wenn } C \begin{array}{c}<\\=\\>\end{array} B.$$

Im ersten Falle wird das Barometerrohr die durch den neuen Luftdruck bedingte Lage einnehmen. Im zweiten Falle wird es bei einem bestimmten Barometerstande in jeder Lage stehen bleiben, es wird aber bei keinem anderen Barometerstande in Ruhe bleiben können.

Endlich wird es bei $C > B$ wohl für jeden Luftdruck eine Gleichgewichtslage haben; dieselbe kann es jedoch allein nicht erreichen. Bringt man das Rohr in diese Stellung, so bleibt es stehen, bewegt sich aber unaufhörlich fort, sowie man es nur ein wenig aus dieser Lage bringt.

Die Gleichung

$$dG = -(C-B)\,dx$$

giebt uns sofort ein Mittel an, diesem Uebelstande entgegentreten zu können.

Ist also $(C-B) > 0$ und $dx > 0$, so wird die Röhre leichter. Das einfache Mittel, die Röhre dann in ihre Gleichgewichtslage zurückzubringen besteht darin, dass man F kleiner macht um dF und dass

$$dF > dG.$$

Dann wird das Uebergewicht auf Seite der Röhre liegen und dieselbe wieder sinken.

Es führt diese Betrachtung also darauf hin, das Gegengewicht F variabel zu machen, und zwar lehrt dieselbe noch, dass F bei einem Steigen des Rohres abnehmen muss, dagegen aber zunehmen beim Sinken. Man wird bei der Construction des Instrumentes stets $C > B$ machen und zwar aus zwei Gründen. Der erste ist ein rein practischer; je grösser nämlich B, desto grösser wird die reibende Oberfläche, da man sieht, dass bei der Bewegung des Rohres eine bedeutende Reibung zwischen dem äusseren Rohre und dem Quecksilber eintreten wird. Diese Reibung ist der Oberfläche proportional und muss durch Verkleinerung von B möglichst vermindert werden.

Der zweite Grund ist ein mehr theoretischer. Die Röhre wird nämlich um so genauer in die durch die Veränderung des Luftdruckes gegebene neue Gleichgewichtsstellung gelangen, je grösser die bewegende Kraft ist.

Ehe die Röhre sinkt, wird etwas Quecksilber in dieselbe eintreten.

Digitized by Google

Dieses wird im Trog weggenommen und so muss das Quecksilber im Trog fallen. Steigt das Niveau im Rohre um dc, so ist eine Quantität Quecksilber $C\,dc$ eingetreten; das Niveau im Trog sinkt dann um $\frac{C\,dc}{E-B}$. So wird das Gewicht der Röhre um $C\,dc$ vermehrt, der Auftrieb um $\frac{C\,dc}{E-B} \cdot B$ vermindert und die bewegende Kraft wird

$$C\,dc + \frac{BC}{E-B}\,dc = \frac{EC}{E-B}\,dc.$$

Dieser Ausdruck zeigt, dass die bewegende Kraft um so grösser wird, je grösser C und je kleiner B. Differentiiren wir ihn nach E, so bekommen wir

$$\frac{d \text{ bew. Kraft}}{dE} = \frac{-BC\,dc}{(E-B)^2}.$$

Der Differentialquotient wird zu Null, wenn $E = \infty$

Demnach bekommen wir für die Construction des Instrumentes folgende Regel: Die bewegende Kraft wird um so grösser, je grösser E und C gegen B wird.

Dass das Wagebarometer mit weiter Kammer wenig stabil ist, hat schon Secchi sofort nach Construction seines Instrumentes bemerkt und deshalb die Aufhängung des Rohres an einem Winkelhebel erfunden. Er bemerkte aber auch, dass die Bewegung der Röhre der Aenderung des Luftdruckes nicht proportional war, und wollte diesem Uebelstande durch eine geeignete Form der Kammer abhelfen. Auf seine Aufforderung hin entwickelte Le Père M. Jullien, S. J., in einem Aufsatze: „Etude sur l'equilibre du baromêtre à balance" etc. (Annali di Matematica pura ed applicata, publ. d. Tortolini, Tom. IV 1861) Formeln für die Gestalt einer solchen Kammer. Dieselben sind aber leider falsch, wie auch schon Radau bemerkte. (Carl, Repertor. f. physic. Technik Bd. III, S. 309.)

Aus den Gleichungen VII finden wir nun

VIII. $$\eta = -\frac{\Delta F}{E} \qquad \Delta b = \frac{C-B}{C}\xi + \frac{E+C-B}{E.C}\Delta F$$

$$\xi = \frac{C}{C-B}\Delta b - \frac{E+C-B}{C-B} \cdot \frac{\Delta F}{E}$$

Daraus sehen wir, dass sich ξ wohl als eine lineare Function von Δb darstellen lässt, wenn nur

$$\Delta F = \xi. \text{ Const.}$$

eine lineare Function der Bewegung des Barometerrohres ist.

Digitized by Google

Solche Veränderungen von F erhält man, wenn man nach Radau's Vorschlag das Gegengewicht am geradlinigen Hebel in Quecksilber tauchen lässt, oder eine Schnellwage verwendet, die man mit einer Aufhängecurve versieht. Die Theorie dieser Curven findet man in einer Schrift von Dr. Francis Place: „Theorie und Construction der Neigungswagen etc.", Weimar 1867, B. Fr. Voigt.

Wie ich zeigen werde, haben die Abweichungen der Bewegungen des Rohres von der Proportionalität mit der Variation des Luftdruckes bei weitem nicht die Schwierigkeiten und Nachtheile auch für den practischen Gebrauch des Instrumentes. Ich muss mich daher entschieden gegen die Bestrebungen, das Instrument von dem erwähnten Umstand und auch von dem Einfluss der Temperatur zu befreien, erklären, da dadurch Einrichtungen hervorgebracht werden, welche das Instrument unnöthig theuer machen und schliesslich zu einem exacten Messinstrument doch nicht gebrauchen lassen.

II. Specielle Theorie eines Wagebarometers, dessen Rohr an einem Winkelhebel aufgehangen ist.

Einen Winkelhebel erhält man, wenn man an einem beliebigen Körper zwei Kräfte angreifen lässt so, dass die Angriffspuncte dieser Kräfte mit der Drehaxe nicht in einer geraden Linie liegen. Den ganzen Hebel kann man sich nun als ein System von vier Puncten, die starr mit einander verbunden sind, denken. Es sind von diesen vier Puncten zwei die Angriffspuncte der Kräfte F und P, der dritte ist die Drehaxe und der vierte der Schwerpunct des Körpers, an dem das Gewicht desselben angreifend gedacht wird. Fig. 4 stellt ein solches System dar. Der Hebelarm AB sei derjenige, welcher die veränderliche Last F in A trägt. $CB = r$ ist der Hebelarm des constanten Gewichtes P und $DB = \varrho$ der Abstand des Schwerpunctes D, in dem das Gewicht Π des Hebels angreift. Ich bezeichne ferner $< ABC$ und $< ABD$ mit α und β.

Die Kräfte wirken alle vertical; steht dann der Hebelarm AB (Röhrenarm) horizontal, so hat die Last F eine Grösse F_0, die gefunden wird durch die Momentengleichung

$$F_0 a = -\Pi\varrho\cos\beta - Pr\cos\alpha,$$

woraus sich ergiebt

Digitized by Google

$$1 \qquad F_0 = -P\frac{r}{a}\cos\alpha - \Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta.$$

Bildet nun der Röhrenarm mit der Horizontalen den Winkel φ, positiv nach oben gerechnet, so wird die Momentengleichung

$$F_\varphi\, a\cos\varphi = -\Pi\varrho\cos(\beta-\varphi) - Pr\cos(\alpha-\varphi).$$

$$2 \qquad \begin{cases} F_\varphi = \left(-\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta - P\frac{r}{a}\cos\alpha\right) - \left\{P\frac{r}{a}\sin\alpha + \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta\right\}\operatorname{tg}\varphi \\ \qquad = F_0 - \left\{P\frac{r}{a}\sin\alpha + \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta\right\}\operatorname{tg}\varphi. \end{cases}$$

Einfacher können wir uns das Gewicht des Hebels mit dem constanten P zusammen in dem Schwerpunct dieses Systems vereinigt denken und bekommen dann den Wagebalken ersetzt durch drei starr verbundene Puncte, von denen der erste der Drehpunct B (Fig. 5), der zweite der Angriffspunct der Röhre A und der dritte der Schwerpunct des ganzen Systems C ist.

Ich bezeichne wiederum den Hebelarm der Last F mit a, mit ϱ den Abstand des Schwerpuncts von der Drehaxe B und mit α den Winkel ABC. Ist das Gewicht des ganzen Hebelsystems Π, so wird

$$3 \qquad F_\varphi = F_0 - \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\alpha\operatorname{tg}\varphi.$$

In dieser Gleichung lässt sich alles durch das Experiment oder Rechnung bestimmen und wir können somit F_φ jederzeit als bekannt betrachten, wenn uns der Winkel φ gegeben ist.

In Figur 6 habe ich nun einen solchen Winkelhebel ausgeführt dargestellt. Er besteht aus zwei Stäben von Messing, die unter einem gewissen Winkel sich schneiden. B ist die Drehaxe, welche auf solidem Fundament aufruht. In A ist eine Schneide auf der eine Gabel spielt, an welcher das Rohr hängt, und in C ist ein constantes Gewicht P angebracht, ebenfalls auf einer Schneide spielend.

Die Grössen in Gleichung 3 sind damit gegeben. Es ist Π das Gewicht des Wagebalken plus dem Gewicht P, ϱ der Abstand des Schwerpunct dieses Systems von der Drehaxe B und α der Winkel den ϱ mit $AB = a$ bildet.

F_0 ist das Gewicht, welches man in A anbringen muss, um den Röhrenarm AB in horizontale Lage zu bringen. Röhre und Trog

Digitized by Google

haben die Gestalt, wie sie aus Fig. 6 ersichtlich und die keiner Erklärung bedarf.

Wir hatten die Hauptgleichungen VI Seite 256 gefunden zu

$$\begin{cases} Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)x + (C-B)y - F = 0 \\ Hg + G - Ey' + C(b-c') - (C-B)x + (E+C-B)y - S = 0. \end{cases}$$

Wir sehen dabei, dass $Aufh$ das Gewicht des leeren Rohres mit den sämmtlichen zur Aufhängung nöthigen Vorrichtungen war. Die Röhre und der Trog wurden in zwei Theile, einen activen und einen passiven Theil zerlegt. Der passive Theil der Röhre ist derjenige vom offenen Ende an bis zu c'. Unter c' kommt die Kuppe der Quecksilbersäule nie und so fasst dann die Röhre bis zu c' das constante Quecksilberquantum, dessen Gewicht mit Hg bezeichnet wurde. G war ebenso das Gewicht des Quecksilbers, welches der Trog bis zur Höhe y' fasst unter die der Spiegel nicht sinken kann, und S das Gewicht des ganzen im Instrument befindlichen Quecksilbers. B, C und E sind Gewichte und zwar Gewichte von Quecksilbersäulen, welche die Längeneinheit zur Höhe und den Querschnitt des betreffenden Cylinders zur Basis haben. Ich will diese Grössen kurzweg die Capacitäten nennen, und verstehe also unter der Capacität eines Cylinders das Gewicht Quecksilber, das er auf 1^{mm} Höhe fasst.

Der Röhrenarm dieses Instrumentes wird nun horizontal stehen, wenn

$$F = F_0 = -\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\alpha$$

ist, und die Hauptgleichungen sind dann

$$\begin{cases} Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)x + (C-B)y + \Pi\frac{\varrho}{a}\cos\alpha = 0 \\ Hg + G - Ey' + C(b-c') - (C-B)x + (E+C-B)y - S = 0. \end{cases}$$

Gehen wir nun zu den Bewegungsgleichungen über, so bekommen wir dieselben nach VII Seite 256

$$\text{VII.} \quad \begin{cases} C\Delta b + (C-B)\eta - (C-B)\xi - \Delta F = 0 \\ C\Delta b + (E+C-B)\eta - (C-B)\xi = 0. \end{cases}$$

Die Werthe b_0, y_0, x_0 sollen nun der horizontalen Lage des Röhrenarmes entsprechen. Dann ist

$$\underline{\xi = x - x_0}$$

Digitized by Google

der Abstand des Aufhängepunctes A der Röhre von der Horizontalen durch den Drehpunct.

Ferner ist

$$\Delta F = -\Pi \frac{\varrho}{a} \sin\alpha \operatorname{tg}\varphi$$

und

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\xi}{\sqrt{a^2-\xi^2}} = \frac{\frac{\xi}{a}}{\sqrt{1-\left(\frac{\xi}{a}\right)^2}}.$$

Demnach bekommen wir

$$\Delta F = -\Pi \frac{\varrho}{a} \sin\alpha \frac{\frac{\xi}{a}}{\sqrt{1-\left(\frac{\xi}{a}\right)^2}}.$$

$\left(1-\left(\frac{\xi}{a}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$ giebt aber nach dem binomischen Lehrsatz entwickelt

$$\left(1-\left(\frac{\xi}{a}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\ldots$$

Da nun ξ klein gegen a sein wird, wird man sich mit diesen drei Gliedern unter allen Umständen begnügen können und erhält mit genügender Schärfe

$$\Delta F = -\Pi \frac{\varrho}{a} \sin\alpha \left\{\frac{\xi}{a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^3 + \frac{1.3}{2.4}\cdot\left(\frac{\xi}{a}\right)^5\right\}$$

Aus den Bewegungsgleichungen bekommen wir nun

$$\left\{\begin{aligned} \eta &= -\frac{\Delta F}{E} = \frac{\Pi}{E}\cdot\frac{\varrho}{a}\sin\alpha\left\{\frac{\xi}{a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^3 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^5\right\} \\ \Delta b &= \frac{C-B}{C}\xi - \Pi\frac{E+C-B}{E.C}\cdot\frac{\varrho}{a}\sin\alpha\operatorname{tg}\varphi \\ &= \frac{C-B}{C}\xi - \Pi\frac{E+C-B}{E.C}\cdot\frac{\varrho}{a}\sin\alpha\left\{\frac{\xi}{a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^3 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^5\right\}. \end{aligned}\right.$$

In den beiden Gleichungen für Δb und η ist ξ zu beobachten und man kann mit dieser Beobachtung, da alle anderen Werthe constant sind, Δb und η berechnen.

Jetzt ist es unsere Aufgabe, die gewonnenen Resultate für die Rechnung bequemer zu machen.

Digitized by Google

Ich setze

$$\text{IX.} \quad \frac{C-B}{C} = A; \quad -\frac{\Pi\varrho}{E\,a^2}\sin\alpha = A'; \quad \frac{E+C-B}{C} = A''$$

und bekomme

$$\text{X.} \quad \begin{cases} \eta = - \quad A'\xi - A'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\} \\ \Delta b = (A + A'A'')\xi + A'A''\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\} \\ \Delta F = \quad EA'\xi + EA'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\} \end{cases}$$

Die vorletzte dieser Gleichungen giebt ein Mittel in die Hand, eine Tabelle zu entwerfen, welche mit dem Argument Ausschlag des Wagebalken die Zunahme des Luftdruckes berechnen lässt.

III. Die Fehler des Wagebarometers.

Ich denke mir das Instrument in der Weise, wie Fig. 6 zeigt, ausgeführt.

An einem solchen Instrument hat man zunächst zwei Fehlergattungen zu unterscheiden und zwar sind dies die constanten und die variabelen.

Die Ablesungen ξ werden nach der Formel X reducirt auf Δb, zu dieser Formel sind aber Constanten nöthig, die man erst bestimmen muss. An jeder derselben wird ein Fehler haften und so werden die sämmtlichen Resultate davon beeinflusst werden. Man berechnet ferner die Δb aus den ξ unter den Voraussetzungen, dass die activen Theile der Röhre und des Troges genau Cylinder sind. Dieselben werden aber mehr oder weniger und an verschiedenen Stellen verschieden von dieser hypothetischen Gestalt abweichen und geben so constante Fehlerquellen. Die andere Gattung von Fehlerquellen sind die variabelen. Dieselben können durch folgende Umstände hervorgebracht werden. Der Wagebalken kann für die Belastung nicht fest genug construirt sein, er kann Durchbiegungen haben, die bei den verschiedenen Ständen verschieden sind und allmählich eine Veränderung der Lage des Schwerpunctes bewirken; die Gabel und die ganze Aufhängevorrichtung kann länger werden durch die fortdauernde Belastung, sie können sich auch mit der Belastung ändern und so ein

Digitized by Google

Heben und Senken der Röhre bewirken, welches am Wagebalken nicht in derselben Grösse abgelesen wird. Der Trog kann ferner seinen Stand gegen die Drehaxe des ganzen Systems verändern und schliesslich ist möglicherweise der Stützpunct des ganzen Systems auch kleinen Veränderungen ausgesetzt.

Ferner werden die Widerstände der Trägheit und Reibung die Bewegung des Rohres verzögern und endlich ist der Einfluss der Temperatur wohl die grösste Fehlerquelle.

Die Aufgabe der Theorie ist es nun, diese angegebenen Umstände und den Einfluss, den sie auf die Resultate ausüben können zu ermitteln.

Ich muss hier annehmen, dass der Verfertiger des Instrumentes den einzelnen Theilen, vorzüglich dem Wagebalken und der Aufhängevorrichtung die nöthige Festigkeit gegeben hat, damit man den Einfluss dieser Fehlerquellen gleich Null betrachten kann.

Die ξ sind die Abstände des Aufhängepunctes der Röhre A von der Horizontalen durch den Drehpunct B. Sollten nun Veränderungen in der Stellung des Troges und der Röhre gegen A vorkommen, so sind diese auf den Drehpunct des ganzen Systems zu beziehen und man kann diesen als absolut fest annehmen. Dann sieht man aber leicht, dass eine Näherung der Röhre an den Trog denselben Effect hervorbringen muss, wie eine Hebung des Troges um dieselbe Grösse, so dass wir folgende fünf Fragen zu untersuchen haben.

1) Welchen Fehler bringt eine Unregelmässigkeit in der Kammer hervor?
2) Welchen Fehler bringt eine Unregelmässigkeit im Trog hervor?
3) Welchen Fehler bringt eine Verstellung des Troges gegen die Drehaxe hervor?
4) Wie gross ist der Einfluss der Temperaturänderung?
5) Welche Wirkung haben die Widerstände der Trägheit und Reibung?

Von diesen Fragen werde ich die ersten vier theoretisch und experimentell untersuchen, die letzte dagegen nur experimentell, da sie ihrer theoretischen Behandlung zu viel Schwierigkeiten entgegensetzt.

Digitized by Google

Auf S. 254 fanden wir die Gleichungen:

$$\text{V.} \quad \begin{cases} \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc + B\xi - B\eta - \Delta F = 0 \\ \int_{c_0}^{c} f(c)\,dc + B\xi + (E-B)\eta = 0. \end{cases}$$

In denselben ist $\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc$ das Gewicht desjenigen Quecksilbers, welches bei der Bewegung des Rohres von $\xi = 0$ bis $\xi = \xi$ in die Röhre eingetreten, oder aus derselben ausgetreten ist.

Durch Addition der beiden Gleichungen, nachdem man die erste mit $(E-B)$, die zweite mit B multiplicirt hat, bekommt man

$$E\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc + EB\xi - \Delta F(E-B) = 0.$$

ΔF haben wir aber als eine Function von ξ dargestellt und zwar fanden wir im vorigen Abschnitt II

$$\Delta F = EA'\xi + EA'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\}$$

Demnach ist

$$\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc = \frac{E-B}{E}\Delta F - B\xi$$

$$= \{(E-B)A' - B\}\xi + (E-B)A'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\}$$

Wenn nun die Kammer genau cylindrisch wäre, würde

$$\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc = C(c-c_0)$$

sein; da sie aber etwas von der Cylindergestalt abweicht, wird das wirkliche Quantum Quecksilber, welches in die Kammer ein- oder ausgetreten ist, um Γ von $C(c-c_0)$ verschieden sein und es wird in Wirklichkeit die Gleichung

$$\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc = C(c-c_0) + \Gamma$$

stattfinden.

Dem Steigen des Quecksilbers um $(c-c_0)$ in der Kammer würde

Digitized by Google

nun nach der Theorie ein Auschlag ξ_0 entsprechen, da aber die Kammer fehlerhaft, wird dieser Ausschlag wirklich sein

$$\xi = \xi_0 + \Delta\xi.$$

Wir bekommen so, wenn wir $\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc = \varphi(\xi)$ setzen,

$$\int_{c_0}^{c} f(c)\,dc = C(c-c_0) + \Gamma = \varphi(\xi_0+\Delta\xi).$$

Die Function rechts nach dem Taylor'schen Satz entwickelt giebt

$$C(c-c_0) + \Gamma = \varphi(\xi_0) + \frac{\Delta\xi}{1}\varphi'(\xi_0) + \frac{\Delta\xi^2}{1.2}\varphi''(\xi_0) + \ldots$$

worin $\varphi'(\xi_0)$ und $\varphi''(\xi_0)$ die Differentialquotienten von $\varphi(\xi_0)$ sind.

Es wird so

XI. $$\Gamma = \varphi'(\xi_0)\Delta\xi + \frac{1}{2}\varphi''(\xi_0)\Delta\xi^2 + \ldots$$

Die Entwickelung der Differentialquotienten bietet keine Schwierigkeiten. Aus

$$\varphi(\xi_0) = \{(E-B)A'-B\}\xi + (E-B)A'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\}$$

bekommt man

$$\varphi'(\xi_0) = \{(E-B)A'-B\} + (E-B)A'\left\{3\cdot\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + 5\cdot\frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots\right\}.$$

$$\varphi''(\xi_0) = (E-B)A'\left\{2.3\,\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2\frac{1}{\xi} + 4.5\,\frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4\frac{1}{\xi} + \ldots\right\}$$

In Gleichung XI haben wir ein Mittel gefunden aus den am Barometerrohre abgelesenen Bewegungen der Kuppe in demselben und den Bewegungen der Röhre selbst, den Fehler in diesen Bewegungen, hervorgebracht durch die Abweichung der Kammer von der Cylindergestalt, zu berechnen.

Ich gehe jetzt auf die Gleichung IV (Seite 252) des ersten Abschnittes zurück. Dieselbe war

IV. $$\int_{y_0}^{y} \varphi(y)\,dy = -\Delta F.$$

$\int_{y_0}^{y} \varphi(y)\,dy$ ist hierin die Quantität Quecksilbers, welche bei der

Digitized by Google

Bewegung des Spiegels im Trog aus diesem getreten oder in denselben getreten ist.

Dieselbe soll sein $E(y-y_0) = E\eta$, weicht aber von diesem Gewicht um das kleine Gewicht Δ ab, so dass

$$\int_{y_0}^{y} \varphi(y)\, dy = E\eta + \Delta = -\Delta F.$$

Der Bewegung des Spiegels η im Trog würde nun ebenfalls eine Bewegung ξ_0 des Rohres entsprechen, wenn der Trog genau cylindrisch wäre. Da dies nicht der Fall, ist die Bewegung des Rohres in Wirklichkeit

$$\xi = \xi_0 + \Delta\xi$$

und wir bekommen

$$\int_{y_0}^{y} \varphi(y)\, dy = E\eta + \Delta = \psi(\xi_0 + \Delta\xi) = \\ = \psi(\xi_0) + \frac{\Delta\xi}{1}\psi'(\xi_0) + \frac{\Delta\xi^2}{1.2}\psi''(\xi_0) + \dots$$

XII. $$\Delta = \psi'(\xi_0)\,.\,\Delta\xi + \frac{1}{2}\psi''(\xi_0)\,\Delta\xi^2 + \dots$$

Nun ist aber

$$\psi(\xi_0) = -\Delta F = -EA'\xi - \frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^3 - \frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^5 - \dots$$

Demnach erhält man

$$\psi'(\xi_0) = -EA' - 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 - 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4 - \dots$$

$$\psi''(\xi_0) = - 2.3.\frac{1}{2}\cdot\frac{EA'}{a^2}\xi - 4.5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^2}\xi^4 - \dots$$

. . . . . .

Die beiden Gleichungen XI und XII lassen sich sehr vereinfachen, wenn man in den Differentialquotienten alle Glieder, die mit ξ behaftet sind, gleich Null setzt. Man bekommt so

XI a. $$\Gamma = \{(E-B)A' - B\}\Delta\xi$$

XII a. $$\Delta = -EA'\Delta\xi$$

Da das abgelesene $\xi = \xi_0 + \Delta\xi$ gesetzt war, ist das gesuchte ξ_0 durch Subtraction der $\Delta\xi$ zu bekommen und man erhält

Digitized by Google

XIII. $$\xi_{,,} = \xi - \frac{\Gamma}{(E-B)A'-B} + \frac{\Delta}{EA'}.$$

In dieser Gleichung ist ξ ein beobachteter Ausschlag am Wagebarometer. $EA' = -\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha$. Γ und Δ erhält man, wenn man zugleich mit ξ die Stände der Kuppe im Rohr und des Spiegels im Trog abliest, die Werthe $C(c-c_0)$ und $E\eta$ berechnet und diese von den wirklichen Gewichten Quecksilbers abzieht. Ich komme darauf später zurück.

Ich wende mich nun zu der dritten Fehlerquelle.

Unter der Voraussetzung, dass der Wagebalken keine Veränderung erleidet, kann man alle Veränderungen im Instrument auf ein Heben oder Senken des Troges gegen die Drehaxe zurückführen.

Wir haben schon bemerkt, dass das Quecksilber, welches unter demjenigen Querschnitt liegt, unter den das Ende des Rohres nicht kommen kann, eine vollständig todte Masse ist, welche ebensogut aus jedem anderen festen Körper bestehen kann. Dieses Quecksilber ist gewissermassen eine Reserve, die in Activität tritt, wenn der Trog gehoben wird, und die vermehrt wird, wenn der Trog sinkt.

Wir werden also genau denselben Effect hervorbringen können, wenn wir den Trog in Ruhe lassen und nur eine Menge Quecksilbers hinzubringen oder wegnehmen, welche so gross, dass ihre Höhe gleich dem Heben oder Senken des Troges ist. Bezeichnen wir dieses Heben oder Senken mit $\pm u$, so wird die nöthige Quecksilbermenge $\pm Eu$ sein.

Demnach finden wir die Aenderung von ξ, hervorgebracht durch die Bewegung $\pm u$ des Troges gegen die Axe, wenn wir die beiden Hauptgleichungen nach S, F, x und y differentiiren. Diese Grössen ändern sich, wenn wir den Barometerstand als constant annehmen.

Nun waren die Hauptgleichungen VI (Abschnitt I Seite 256):

$$\begin{aligned} Aufh + Hg + C(b-c') - (C-B)x + (C-B)y - F &= 0 \\ Hg + G - Ey' + C(b-c') - (C-B)x + (E+C-B)y - S &= 0. \end{aligned}$$

Die Differentiation ergiebt hieraus:

$$\begin{cases} -(C-B)\,dx + (C-B)\,dy - dF = 0 \\ -(C-B)\,dx + (E+C-B)\,dy - dS = 0. \end{cases}$$

Durch Multiplication der ersten Gleichung mit $(E+C-B)$, der

Digitized by Google

zweiten mit $(C-B)$ und Subtrahiren der so erhaltenen Gleichungen bekommt man:

$$-E(C-B)\,dx = (E+C-B)\,dF - (C-B)\,dS.$$

Es bedarf jetzt noch einer näheren Bestimmung des dF. Ist der Ausschlag ξ abgelesen worden, so haben wir

$$F = F_0 + EA'\xi + \frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^3 + \frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^5$$

und daraus

$$dF = \left(EA' + 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4\right)d\xi.$$

Nun ist die Bewegung des Rohres dx offenbar mit $d\xi$ gleich, folglich bekommen wir

$$(C-B)dS = \left\{\left\{EA' + 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4\right\}(E+C-B) + E(C-B)\right\}d\xi.$$

Auch hier wird man in den meisten Fällen die Glieder mit ξ^2 und ξ^4 vernächlässigen können und bekommt

$$(C-B)\,dS = E\{A'(E+C-B) + (C-B)\}\,d\xi.$$

Nun kann man schliesslich $dS = \pm Eu$ einführen und erhält die Formeln

XIII a.
$$\begin{cases} d\xi = \pm \dfrac{(C-B)}{\left\{A' + 3\cdot\dfrac{1}{2}\dfrac{A'}{a^2}\xi^2 + \ldots\right\}(E+C-B) + (C-B)}\,u \\ \quad = \pm \dfrac{(C-B)}{A'(E+C-B) + (C-B)}\,u = \pm\dfrac{A}{\gamma_1}u.^{1)} \end{cases}$$

Diese Formeln sagen uns: Hebt man den Trog um u, oder senkt ihn um dieselbe Grösse, so ändert sich der Ausschlag des Wagebalkens um eine Grösse $d\xi$, die sich aus den Formeln XIII berechnen lässt.

Ueber den Einfluss der Temperatur.

Ich denke mir die Temperatur nach einander wirkend auf den Wagebalken; auf die Träger desselben, den Träger des Troges, die Aufhängevorrichtung etc. und endlich auf das Rohr und den Trog selbst.

Die Veränderungen durch die Temperatur zerlege ich so in drei

1) Beweis Seite 302. Bedeutung des γ_1 auf Seite 279 XVIII.

Digitized by Google

Perioden, die nach einander geschehen und schliesslich denselben Effect hervorbringen müssen, als wenn sie zugleich vor sich gingen.

Von dem Wagebalken nun lässt sich zeigen, dass unter gewissen Bedingungen die Temperatur vollständig ohne Einfluss ist. Der Wagebalken soll gebaut sein, dass die Körper aus denen die beiden Arme desselben bestehen, vollständig symmetrisch sind und dass die Symmetrieaxen die Verbindungslinien der Aufhängepuncte der Röhre und des Gegengewichtes P mit der Drehaxe darstellen.

Diese Körper müssen ferner von demselben Material und durchaus homogen sein.

Dann liegen die Schwerpuncte der beiden Hebelarme in den Symmetrieaxen um die Längen a und b von der Drehaxe ab (Fig. 7). Der Schwerpunct des ganzen Wagebalkens liegt in der Verbindungslinie AC dieser partiellen Schwerpuncte, im Puncte D. Wenn nun im Puncte A das Gewicht m, in C das Gewicht μ wirkt, so ist das Gewicht des ganzen Wagebalken $\Pi = m + \mu$; die Lage des Schwerpunctes D ist dann gegeben durch ihren Abstand x von A und es ist

$$x = \frac{\mu}{m+\mu} e = ne;$$

mit e bezeichne ich die Länge der Linie AC.

Wird jetzt der Abstand des Schwerpunctes D von der Drehaxe $BD = \varrho$ gesetzt und mit γ der Winkel bezeichnet, den BD mit AB bildet, so ergiebt sich zunächst

$$\frac{e}{b} = \frac{\sin\alpha}{\sin(BAC)} \qquad \sin(BAC) = \frac{b}{e}\sin\alpha$$

und daraus

$$\varrho^2 = a^2 + n^2e^2 - 2ane\cos(BAC) \qquad \frac{\sin\gamma}{\sin(BAC)} = \frac{ne}{\varrho}$$

$$= a^2 + n^2e^2 - 2ane\sqrt{1 - \frac{b^2}{e^2}\sin^2\alpha},$$

$$\varrho^2 = a^2 + n^2e^2 - 2na\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha} \qquad \sin\gamma = \frac{n.e}{\varrho}\cdot\frac{b}{e}\sin\alpha = \frac{nb}{\varrho}\sin\alpha.$$

Aendert sich nun die Temperatur des Wagebalkens, so müssen die symmetrischen Körper, wenn sie aus gleichem Material und homogen sind, symmetrisch bleiben. Da sie aber an dem einen Ende festgehalten werden, werden sich die Schwerpuncte in der Richtung der Symmetrieaxen verschieben und zwar um Grössen, die der Ausdehnung materieller Stäbe von demselben Material und den Längen a und b

Digitized by Google

entsprechen. Ist δ der lineare Ausdehnungscoëfficient des Materiales, t die Temperaturerhöhung, so würde sich a und b um $a\delta t$ und $b\delta t$ vergrössern, während der Winkel α constant bleibt.

Die Aenderung von ϱ bekommen wir dann durch Differentiation der Gleichung für ϱ^2 und erhalten

$$2\varrho d\varrho = 2ada + 2n^2ede - 2nda\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha} - 2an\frac{ede - b\sin^2\alpha\, db}{\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha}}$$

$$\varrho d\varrho = ada + n^2ede - n\frac{aede - ab\sin^2\alpha\, db + e^2da - b^2\sin^2\alpha\, da}{\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha}}.$$

Da ferner $e^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha$, so erhalten wir

$$ede = ada + bdb - \cos\alpha\{adb + bda\}.$$

Setzen wir jetzt $da = a\delta t$, $db = b\delta t$ ein, so wird

$$ede = a^2\delta t + b^2\delta t - 2ab\delta t\cos\alpha = (a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha)\delta t = e^2\delta t.$$

Dies giebt

$$ede = e^2\delta t$$
$$de = e\delta t.$$

Demnach erhalten wir

$$\varrho d\varrho = a.a\delta t + n^2e^2\delta t - n\frac{ae^2\delta t - ab^2\sin^2\alpha\delta t + e^2a\delta t - b^2a\sin^2\alpha\delta t}{\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha}}$$

$$= \left(a^2 + n^2e^2 - n\frac{2ae^2 - 2ab^2\sin^2\alpha}{\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha}}\right)\delta t$$

$$= \left(a^2 + n^2e^2 - 2an\sqrt{e^2 - b^2\sin^2\alpha}\right)\delta t$$

$$= \varrho^2\delta t$$

und

$$\underline{d\varrho = \varrho\delta t}.$$

In dem Ausdruck

$$\sin\gamma = n\sin\alpha\frac{b}{\varrho}$$

bekommen wir bei t^0

$$\underline{\sin\gamma_t} = n\sin\alpha\frac{b + b\delta t}{\varrho + \varrho\delta t} = n\sin\alpha\frac{b(1 + \delta t)}{\varrho(1 + \delta t)} = \underline{\sin\gamma}.$$

Dies liefert folgenden Satz:

„Bestehen die Arme eines Winkelhebels aus Körpern, symmetrisch zu den Verbindungslinien der Aufhängepuncte mit der Axe, so bleibt die Verbindungslinie des Schwerpunctes des Wagebalken mit der Axe unverändert und der Schwerpunct selbst hat die Entfernung

Digitized by Google

$$\varrho + \varrho\delta t$$

von der Axe, wenn ϱ seinen Abstand bei der Anfangstemperatur und δ der lineare Ausdehnungscoëfficient des Materials ist, aus dem der Wagebalken besteht, sobald sich die Temperatur des Wagebalkens um t^0 erhöht."

Nun fanden wir in Gleichung 2 des Abschnittes II Seite 261 die Last F, welche dem Ausschlag φ des Wagebalkens entspricht, zu

$$F = \left\{ -\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta - P\frac{r}{a}\cos\alpha \right\} - \left\{ \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta + P\frac{r}{a}\sin\alpha \right\} \operatorname{tg}\varphi.$$

Hierin ändern sich nur ϱ, r und a, während α und β nach dem obigen Satz constant bleiben, und wir bekommen, bei t^0 die Last F_t zu,

$$F_t = -\Pi\frac{\varrho(1+\delta t)}{a(1+\delta t)}\cos\beta - P\frac{r(1+\delta t)}{a(1+\delta t)}\cos\alpha - \left\{ \Pi\frac{\varrho(1+\delta t)}{a(1+\delta t)}\sin\beta - P\frac{r(1+\delta t)}{a(1+\delta t)}\sin\alpha \right\} \operatorname{tg}\varphi$$

$$\underline{\underline{F_t = F.}}$$

Damit ist der aufgestellte Satz bewiesen und wir brauchen auf den Wagebalken keine Rücksicht mehr zu nehmen.

Durch die Temperaturerhöhung wird nun der Röhrenarm a etwas länger werden. In Folge dessen entspricht das abgelesene ξ nicht demselben Winkelausschlag des Wagebalken, dem ξ bei der niederen Temperatur entsprach. Die Grösse Δa ist an und für sich sehr klein und kommt dazu mit einem sehr kleinen Factor in Rechnung, nämlich mit dem Sinus eines Winkels, der 20° selten übersteigen wird. Wir können also auch diesen Umstand vernachlässigen.

Der zweite Act der Veränderung von ξ durch die Temperatur besteht in folgenden Erscheinungen.

Es wird sich das Lager der Drehaxe des Wagebalken um die Grösse $\mp u_1$ heben oder senken, der Bügel oder die Aufhängevorrichtung wird bei einer Temperaturerhöhung länger werden um die Grösse $+u_2$ und der Trog wird sich um $\pm u_3$ heben oder senken. Den Werth u_1 habe ich bei dem Heben der Axe negativ angenommen, weil das Heben der Axe einem Sinken des Troges entspricht. Die Ausdehnung der Aufhängevorrichtung entspricht einem Heben des Troges, Demnach haben wir

$$u = \mp u_1 + u_2 \pm u_3$$

Digitized by Google

als Hebung oder Senkung des Troges zu betrachten, je nachdem u positiv oder negativ und nach der Formel XIII Seite 269 den Werth von $d\xi$ zu berechnen.

Es bleibt so noch der dritte Act übrig und dieser ist die Wirkung der Temperatur auf Rohr und Trog. Ich nehme an, bei einer bestimmten Temperatur τ sind die Constanten des Instrumentes bestimmt zu B_τ, C_τ, E_τ, Hg_τ, G_τ, c'_τ. Dann findet Gleichgewicht statt, wenn die Gleichungen gelten

$$\begin{cases} Aufh + Hg_\tau + C_\tau(b_\tau - c'_\tau) - (C-B)_\tau x_\tau + (C-B)_\tau y_\tau - F_\tau = 0 \\ Hg_\tau + G_\tau - E_\tau y'_\tau + C_\tau(b_\tau - c'_\tau) - (C-B)_\tau x_\tau + (E+C-B)_\tau y_\tau - S = 0. \end{cases}$$

b_τ ist hierin der auf τ^0 reducirte Barometerstand.

Steigt die Temperatur auf t^0, so ändern sich in diesen Gleichungen alle Grössen mit Ausnahme von $Aufh$ und S. Durch Differentiation der beiden Gleichungen erhält man nun, wenn man noch den Index τ überall weglässt,

$$dHg + C(db - dc') + (b-c')\,dC - (C-B)\,dx - x\,d(C-B) + (C-B)\,dy + y\,d(C-B) - dF = 0$$

$$dHg + d\{G - Ey'\} + C(db - dc') + (b-c')\,dC - (C-B)\,dx - x\,d(C-B) + (E+C-B)\,dy + y\,d(E+C-B) = 0.$$

Ich setze $(y-x) = z$, $dx = d\xi$ und bekomme

$$\begin{cases} dHg + Cdb - Cdc' + bdC - c'dC + z\,d(C-B) + (C-B)\,dy - (C-B)\,d\xi - dF = 0 \\ dHg + Cdb - Cdc' + bdC - c'dC + z\,d(C-B) + (E+C-B)\,dy - (C-B)\,d\xi + d\{G - Ey'\} + y\,dE = 0. \end{cases}$$

Unsere nächste Aufgabe besteht darin, für die in den obigen Gleichungen enthaltenen Differentialien bestimmte Werthe zu entwickeln. Zu dem Zweck betrachte ich ein Gefäss von irgend einem Material, das bei 0^0 Celsius G_0 Gramm Quecksilber fasst. Bezeichnet s_0 das specifische Gewicht des Quecksilbers bei 0^0, so ist das Volumen des Gefässes

$$V_0 = \frac{G_0}{s_0}.$$

Wird das Gefäss auf t^0 erwärmt, und ist sein linearer Ausdehnungscoëfficient γ, so wird sein Volumen bei t^0 sein

$$V_t = V_0\{1 + 3\gamma t\}.$$

Digitized by Google

Ist dann s_t das specifische Gewicht des Quecksilbers bei t^0, so geht in das Gefäss jetzt ein Gewicht G_t Quecksilber

$$G_t = V_0 \{1+3\gamma t\} s_t = G_0 \frac{s_t}{s_0} (1+3\gamma t).$$

Wird der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers mit $(\mu t + \lambda t^2)$ bezeichnet, so hat ein Volumen v_0 bei 0^0, bei t^0 die Grösse $v_t = v_0 \{1+\mu t+\lambda t^2\}$. Das Gewicht dieses Volumens ist aber dasselbe und so ist

$$v_0 s_0 = v_t s_t$$

$$\frac{s_t}{s_0} = \frac{v_0}{v_t} = \frac{1}{1+\mu t+\lambda t^2}.$$

Dies giebt

$$G_t = G_0 \frac{1+3\gamma t}{1+\mu t+\lambda t^2}$$

das Gewicht Quecksilbers, welches ein Gefäss bei t^0 fasst, wenn es bei 0^0 gerade G_0 enthalten kann.

Diese Formel lässt sich noch vereinfachen. Setzen wir

$$\frac{1+3\gamma t}{1+\mu t+\lambda t^2} = \frac{1+\delta}{1+\varepsilon},$$

so lässt sich $(1+\varepsilon)^{-1}$ nach dem binomischen Lehrsatz entwickeln in

$$(1+\varepsilon)^{-1} = 1-\varepsilon+\varepsilon^2-\varepsilon^3+.....$$

und wir bekommen

$$\frac{1+\delta}{1+\varepsilon} = \left\{\begin{matrix} 1-\varepsilon+\varepsilon^2-\varepsilon^3+..... \\ +\delta-\delta\varepsilon+\delta\varepsilon^2-.... \end{matrix}\right\} = 1-\{\varepsilon-\delta-\varepsilon^2+\delta\varepsilon+...\}$$

Ich setze nun

$$w_t = (\varepsilon-\delta-\varepsilon^2+\delta\varepsilon+....) =$$
$$= \{(\mu t+\lambda t^2) - 3\gamma t - (\mu t+\lambda t^2)^2 + (\mu t+\lambda t^2) \cdot 3\gamma t + ...\}$$

und bekomme so

$$G_t = G_0 \{1-w_t\} \qquad \Delta G_0 = -G_0 w_t$$

und auch umgekehrt

$$G_0 = G_t \{1+w_t\} \qquad \Delta G_t = +G_t w_t,$$

wie sich dies aus dem strengen Ausdruck leicht entwickeln lässt.

Fasst nun ein Gefäss bei 0^0 $G_0 \varepsilon^\tau$ bei τ^0 und t^0 G_τ und G_t, so sind

Digitized by Google

$$G_\tau = G_0\{1-w_\tau\} \qquad G_t = G_0\{1-w_t\}$$
$$G_t - G_\tau = -G_0\{w_t - w_\tau\} = -G_0 \Delta w.$$

Diese Formeln können wir direct auf unsere Differentialgleichungen anwenden, und bekommen

$$C = C_0\{1-w\};\ (C-B) = (C-B)_0(1-w);\ dHg = -Hg_0 \Delta w;$$
$$dC = -C_0 \Delta w;\quad d(C-B) = -(C-B)\Delta w.$$

Für den Trog, der aus anderem Material besteht, werden die w andere Werthe haben, und ich will sie mit w' und $\Delta w'$ bezeichnen. So bekomme ich

$$d\{G-Ey'\} = -(G-Ey')_0 \Delta w';\ E = E_0\{1-w'\};\ dE = -E\Delta w'.$$

Mit w und w' habe ich hier die constanten Werthe w_τ und w'_τ bezeichnet. Die mit dem Index 0 bezeichneten Grössen gelten alle als bei 0° Celsius bestimmt.

Der Barometerstand b_0 bei 0° wird bei τ^0 und t^0 die Werthe

$$b_\tau = b_0\{1+\varepsilon_\tau\} = b_0\{1+\mu\tau+\lambda\tau^2\}$$
$$b_t = b_0\{1+\varepsilon_t\} = b_0\{1+\mu t+\lambda t^2\}$$

haben. Die Subtraction dieser beiden ergiebt, wenn $\varepsilon_t = \varepsilon$ gesetzt wird

$$db = b_t - b_\tau = b_0\{\varepsilon_t - \varepsilon\} = b_0 \Delta\varepsilon \quad \text{und} \quad b = b_0\{1+\varepsilon\}$$

also in unseren Gleichungen

$$b = b_0\{1+\varepsilon\} \qquad db = b_0 \Delta\varepsilon.$$

Weiter ist c'_0 die Länge einer Glasröhre bei 0°. Diese hat bei τ^0 und t^0 die Längen

$$c'_0\{1+\gamma\tau\} \quad \text{und} \quad c'_0\{1+\gamma t\}$$

folglich ist

$$dc' = c'_0\gamma\{t-\tau\} = c'_0\gamma\Delta t \qquad c' = c'_0\{1+\gamma\tau\}$$

Schliesslich bleiben noch dF und z zu specialisiren. Ich nehme zunächst an, dass der Röhrenarm des Wagebalkens in horizontaler Lage ist. Dann ist $\xi = 0$ und

$$dF = EA'd\xi;$$

z ist die Länge des eingetauchten Rohres, die irgend wie bestimmt werden kann.

Die Ausdehnungen von z und y vernachlässigen wir vollständig.

Jetzt haben wir in den Differentialgleichungen für $d\xi$ und $d\eta$

Digitized by Google

alle Werthe bestimmt und können dieselben nun in die Gleichungen einsetzen.

Die Constanten sind alle bei Null Grad Celsius bestimmt, ich kann daher den Index 0 weglassen.

Zur Berechnung der Bewegung $d\xi$, die eine Temperaturänderung des Instrumentes von τ^0 auf t^0 bei horizontaler Stellung des Röhrenarmes hervorbringt, erhalten wir folgende Gleichungen:

$$\begin{cases} -Hg\,\Delta w + (C - Cw)\,b\,\Delta\varepsilon - (C - Cw)\,c'\gamma\,\Delta t + (b + b\varepsilon) \\ \quad \cdot - C\Delta w - (c' + c'\gamma\tau) \cdot - C\Delta w + z\,(C - B) \cdot - \Delta w \\ \quad + (C - B)\,(1 - w)\,d\eta - \{(C - B)\,(1 - w) + EA'\}\,d\xi = 0 \\ -Hg\,\Delta w + (C - Cw)\,b\,\Delta\varepsilon - (C - Cw)\,c'\gamma\,\Delta t + (b + b\varepsilon) \\ \quad \cdot - C\Delta w - (c' + c'\gamma\tau) \cdot - C\Delta w + z\,(C - B) \cdot - \Delta w \\ \quad + \{E\,(1 - w') + (C - B)\,(1 - w)\}\,d\eta - (C - B)\,(1 - w)\,d\xi \\ \quad + \{G + E\,(y - y')\} \cdot - \Delta w' = 0 \end{cases}$$

oder:

$$\begin{cases} -Hg\,\Delta w + Cb\,\Delta\varepsilon - Cwb\,\Delta\varepsilon - Cc'\gamma\,\Delta t + Cwc'\gamma\,\Delta t - bC\Delta w \\ \quad - b\varepsilon C\Delta w + c'C\Delta w + c'\gamma\tau C\Delta w - z\,(C - B)\,\Delta w \\ \quad + (C - B)\,(1 - w)\,d\eta - \{(C - B)\,(1 - w) + EA'\}\,d\xi = 0 \\ -Hg\,\Delta w + Cb\,\Delta\varepsilon - Cwb\,\Delta\varepsilon - Cc'\gamma\,\Delta t + Cwc'\gamma\,\Delta t - bC\Delta w \\ \quad - b\varepsilon C\Delta w + c'C\Delta w + c'\gamma\tau C\Delta w - z\,(C - B)\,\Delta w \\ \quad + \{E\,(1 - w') + (C - B)\,(1 - w)\}\,d\eta - (C - B)\,(1 - w)\,d\xi \\ \quad - \{G + E\,(y - y')\}\,\Delta w' = 0. \end{cases}$$

Ich führe nun folgende Abkürzungen ein:

XIV.
$$\begin{cases} a_1 = -\Delta w\,\{Hg + (b - c')\,C + z\,(C - B)\} \\ \qquad + C\,(1 - w)\,\{b\,\Delta\varepsilon - c'\gamma\,\Delta t\} - C\Delta w\,\{b\varepsilon - c'\gamma\tau\} \\ a_2 = (C - B)\,(1 - w) \\ a_3 = EA' = -\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha \\ a_4 = -\{G + E\,(y - y')\}\,\Delta w' \\ a_5 = E\,(1 - w') \end{cases}$$ XIV.

Dann werden die Differentialgleichungen kürzer folgende:

$$\begin{cases} a_1 + a_2\,d\eta - (a_2 + a_3)\,d\xi = 0 \\ (a_4 + a_1) + (a_5 + a_2)\,d\eta - a_2\,d\xi = 0. \end{cases}$$

Diese Gleichungen gelten zwar nur für unendlich kleine Temperaturänderungen, da aber die Coëfficienten von $d\xi$ und $d\eta$ innerhalb der

Digitized by Google

Grenzen, die hier vorkommen können, als constant zu betrachten sind, wird man die Gleichungen für endliche $\Delta\xi$ und $\Delta\eta$ als richtig gebrauchen können. Ich bekomme aus denselben

$$\text{XV.} \qquad \Delta\xi = \frac{a_1 a_5 - a_2 a_4}{(a_2 + a_5) a_3 + a_2 a_5}.$$

Hierin ist τ die Normaltemperatur und t grösser als τ angenommen. Für $\tau = 0^0$ wird $w = 0$, $\Delta w = w_t$, $\Delta\varepsilon = \varepsilon_t$, $\varepsilon = 0$, $\Delta t = t$ und wir bekommen das System XIV folgendermassen:

$$\text{XIV a.} \left\{ \begin{array}{l} a_1 = -w_t \{Hg + (b-c')C + z(C-B)\} + C\{b\varepsilon_t - c'\gamma t\} \\ a_2 = (C-B) \\ a_3 = EA' = -\Pi \frac{\varrho}{a^2} \sin\alpha \\ a_4 = -\{G + E(y-y')\} w_t' \\ a_5 = E \end{array} \right\} \tau = 0.$$

Sobald ξ einen von Null verschiedenen Werth hat, wird auch die Correction $\Delta\xi$ einen anderen Werth haben. Es sei nun bei einem Luftdruck $b + \Delta b$ die Länge des eintauchenden Rohres $z + \Delta z$, die Veränderung des Spiegels im Trog η und der Ausschlag des Wagebalken ξ. Dann ändern sich in dem System XIV die Werthe von a_1, a_3, a_4 und wir bekommen

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta a_1 = -\Delta w\, C\Delta b - \Delta w (C-B)\Delta z + C(1-w)\Delta\varepsilon\,\Delta b - C\Delta w\,\varepsilon\Delta b \\ \Delta a_4 = -E\Delta w'\eta \\ \Delta a_3 = 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4 + \ldots. \end{array} \right.$$

oder besser

$$\text{XVI.} \left\{ \begin{array}{l} \Delta a_1 = \Delta b\{-C\Delta w\{1+\varepsilon\} + C(1-w)\Delta\varepsilon\} - \Delta z\,\Delta w\,(C-B) \\ \Delta a_3 = 3\cdot\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4 + \ldots. \\ \Delta a_4 = -\eta E\Delta w' \end{array} \right.$$

und es wird

$$\text{XVII.} \qquad \Delta\xi = \frac{(a_1 a_5 - a_2 a_4) + (a_5\Delta a_1 - a_2\Delta a_4)}{((a_2 + a_5) a_3 + a_2 a_5) + (a_2 + a_5)\Delta a_3}.$$

Man wird die eben entwickelten Formeln benutzen, um eine Tafel zu construiren mit den doppelten Eingängen Temperatur und Ausschlag. Demnach wird man ξ annehmen, damit Δb, η und Δz be-

Digitized by Google

rechnen. Die Formeln dazu sind in Abschnitt II gegeben. Wir fanden daselbst (Seite 264)

$$\text{X.}\quad \begin{cases} \eta = & -A'\xi - A'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots.\right\} \\ \Delta b = (A + A'A'')\xi + A'A''\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots.\right\} \\ \Delta F = & EA'\xi + EA'\xi\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\xi}{a}\right)^2 + \frac{1.3}{2.4}\left(\frac{\xi}{a}\right)^4 + \ldots.\right\} \end{cases}$$

und dazu kommt noch

$$\Delta z = (\eta - \xi).$$

Die Werthe Δa_1, Δa_3, Δa_4 sind aber sehr klein, so dass wir folgende Abkürzung einführen können:

$$\text{XVIII.}\qquad \Delta b = \gamma_1\xi \qquad \Delta z = \gamma_2\xi \qquad \Delta\eta = \gamma_3\xi.$$

Wir stellen also die Aenderungen des Luftdruckes, der Niveauhöhe im Trog und der Länge des eintauchenden Rohres als lineare Functionen der Bewegung des Rohres dar.

Um nun γ_1 zu berechnen, bilden wir nach der zweiten der Formeln X die Werthe

$$\Delta b_{\xi=1} \qquad \Delta b_{\xi=10} \qquad \Delta b_{\xi=20} \qquad \text{etc.,}$$

dividiren dieselben durch respective 1, 10, 20 etc. und nehmen das Mittel daraus für γ_1. Ebenso verfahren wir zur Bestimmung von γ_3 und finden schliesslich $\gamma_2 = (\gamma_3 - 1)$.

Dann geht das System XVI auf der vorigen Seite über in

$$\text{XVI a.}\quad \begin{cases} \Delta a_1 = \left\{\gamma_1\{C(1-w)\Delta\varepsilon - C(1+\varepsilon)\Delta w\} - \gamma_2(C-B)\Delta w\right\}\xi \\ \Delta a_3 = 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^4}\xi^4 \\ \Delta a^4 = -\gamma_3 E\Delta w'\xi \end{cases}$$

und dies ist für $\tau = 0$.

$$\text{XVI b.}\quad \left.\begin{cases} \Delta a_1 = \left\{C\gamma_1\{\varepsilon_t - w_t\} - \gamma_2(C-B)w_t\right\}\xi \\ \Delta a_3 = 3\frac{1}{2}\frac{EA'}{a^2}\xi^2 + 5\frac{1.3}{2.4}\frac{EA'}{a^2}\xi^4 \\ \Delta a_4 = -\gamma_3 Ew_t'\xi \end{cases}\right\}\tau = 0.$$

Hat man das Instrument genau berechnet, wie ich es später zeigen werde, und darnach ausgeführt, so kann man in diesen Formeln die berechneten Constanten einführen und die Reduction auf 0^0 berechnen. Ist dieses nicht der Fall, so wird man einen Luft-

Digitized by Google

druck b abwarten, bei dem der Röhrenarm horizontal steht, die Temperatur τ, die dabei gerade herrscht, als Normaltemperatur nehmen und die Constanten am Instrumente durch Beobachtung bestimmen.

Ich habe bis jetzt die Formeln möglichst streng entwickelt, ja ich kann sogar sagen ganz streng, da die Function w auf jeden Grad der Genauigkeit gebracht werden kann. Dabei ist aber an eine Uebersichtlichkeit nicht zu denken. Ich will also mir einige Abkürzungen erlauben und setze

1) $\tau = 0$;

2) den Ausdehnungscoëfficienten der Röhre gleich dem des Troges;

3) w_t und ε_t betrachte ich als lineare Functionen der Temperatur und schreibe $w_t = mt$, $\varepsilon_t = nt$, so wird

$$a_1 = -mt\{Hg + (b-c')C + z(C-B)\} + C\{bn - c'\gamma\}t$$

$$a_2 = (C-B), \quad a_3 = EA', \quad a_4 = -(G + E(y-y'))mt, \quad a_5 = E$$

und es wird

$$\Delta\xi = \frac{\{-mt\{Hg+(b-c')C+z(C-B)\} + C(bn-c'\gamma)t\}E + (C-B)(G+E(y-y'))mt}{(E+C-B)EA' + (C-B)E}$$

$$= -\frac{m\left\{(C-B)\left\{\frac{G}{E} + (y-y')\right\} - Hg - C(b-c') - z(C-B)\right\} + C(bn-c'\gamma)}{(E+C-B)A' + (C-B)}t.$$

In Abschnitt II fanden wir folgende Formel:

$$\Delta b = \left(\frac{C-B}{C} + \frac{E+C-B}{C}A'\right)\xi + \ldots\ldots$$

Wird diese Gleichung mit C multiplicirt und $\Delta b = \gamma_1\xi$ gesetzt, so erhalten wir

$$C\gamma_1\xi = ((C-B) + (E+C-B)A')\xi + \ldots\ldots$$

und mit Vernachlässigung der höheren Glieder, was jedenfalls mit grosser Annäherung gestattet ist,

$$C\gamma_1 = (C-B) + (E+C-B)A'.$$

Der Ausdruck rechts ist aber unser Nenner in der Gleichung für $\Delta\xi$. Wir bekommen so

$$\Delta\xi = \frac{m\left\{(C-B)\left\{\frac{G}{E} + (y-y')\right\} - Hg - C(b-c') - z(C-B)\right\} + C(bn-c'\gamma)}{C\gamma_1}t$$

$$= \left\{\frac{m}{\gamma_1}\left\{A\left(\frac{G}{E} + (y-y')\right) - \frac{Hg}{C} - (b-c') - Az\right\} + \frac{bn-c'\gamma}{\gamma_1}\right\}t$$

Digitized by Google

XV a.

$$\Delta\xi = \left\{\frac{m}{\gamma_1}\left[\left\{\frac{G}{E}+(y-y')-z\right\}A-\frac{Hg}{C}-(b-c')\right]+\frac{bn-c'\gamma}{\gamma_1}\right\}t.$$

Ich will mich einer Discussion dieser Gleichung enthalten, da ohne Kenntniss der Zahlenwerthe, welche die einzelnen Glieder der Klammern haben, sich nicht viel sagen lässt. Jedenfalls steht diese Formel der Radau'schen an Kürze nicht nach und lässt sich auch genauer machen, wenn man m und n nicht constant, sondern für verschiedene Temperaturlagen variabel nimmt, also nur für Temperaturen von $0^0 \div a^0$, $a^0 \div 2a^0$ etc. constant braucht. a wird man um so kleiner nehmen, je genauer man $\Delta\xi$ haben will.

Am zweckmässigsten wird man wohl verfahren, wenn man die Werthe

$$m = \frac{w_1}{1}\ \frac{w_a}{a}\ \frac{w_{2a}}{2a} \text{ etc.} \quad \text{und} \quad n = \frac{\varepsilon_1}{1}\ \frac{\varepsilon_a}{a}\ \frac{\varepsilon_{2a}}{a} \text{ etc.}$$

bildet, und daraus die Mittel als die Werthe von m und n, die sich allen Temperaturen, welche vorkommen können am besten anschliessen, nimmt.

Werden die Ablesungen ξ am Wagebarometer nicht auf 0^0, sondern auf τ^0 reducirt und daraus Δb berechnet nach den Formeln X, so sind in denselben die Constanten für τ^0 Temperatur zu nehmen, also $C_\tau = C(1-w_\tau)$ $B_\tau = B(1-w_\tau)$ $E_\tau = E(1-w'_\tau)$.

Hat man schon eine Tabelle für Δb für die Normaltemperatur 0 berechnet, so ist es nicht nöthig dieselbe für τ mit den Gliedern höherer Ordnung für ξ wieder zu berechnen, sondern man bringt an den Δb eine Correction

$$d\Delta b = \xi \times \text{Const.}$$

an. Es war in Gleichung X Abschnitt II

$$\Delta b = \left(\frac{C-B}{C} - \frac{E+C-B}{E\cdot C}\cdot\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha\right)\xi + \ldots\ldots$$

Die kleinen Coëfficienten der Glieder höherer Ordnung nehmen wir bei den verschiedenen Temperaturen constant an. Bei τ^0 wird nun aus dem Coëfficienten von ξ, wenn wir noch $w = w'$ setzen:

$$\frac{(C-B)(1-w)}{C(1-w)} - \frac{(E+C-B)(1-w)}{E\cdot C(1-w)^2}\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha =$$

$$\frac{C-B}{C} - \frac{E+C-B}{E\cdot C}\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha - \frac{E+C-B}{E\cdot C}\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha\, w - \ldots\ldots =$$

$$A + A'A'' + A'A''w + \ldots\ldots$$

Digitized by Google

und so ist

XIX. $$d\Delta b = w_t A'A'' \xi.$$

Ueber das Anbringen der Correctionen an den Beobachtungen.

Bei fehlerfreiem Instrumente und constanter Temperatur wird eine Aenderung des Luftdruckes Δb eine Bewegung ξ des Rohres hervorbringen. Dabei steigt die Kuppe im Rohr um

$$(c - c_0) = \Delta b + \eta - \xi = (\gamma_1 + \gamma_3 - 1)\xi$$

und das Niveau im Trog ändert seinen Stand um

$$\eta = \gamma_3 \xi.$$

Aendert sich plötzlich das Quantum Quecksilbers $C(c-c_0)$ um Γ, so wird ξ in ξ_1 übergehen und es wird

$$\xi_1 = \xi + \Delta\xi_1$$

aus den Gleichungen XI Abschnitt III zu berechnen sein.

Eine Aenderung des Quantum $E\eta$ um Δ wird ξ_1 in ξ_2 verwandeln, und wir bekommen

$$\xi_2 = \xi_1 + \Delta\xi_2$$

aus den Gleichungen XII.

Jetzt nehmen wir an, es verändern sich die Abstände der Axe vom Trog etc. Wir reduciren diese ganzen Veränderungen auf äquivalente Trogbewegungen, nehmen die Summe davon und berechnen nach Gleichung XIIIa die Grösse

$$\xi_3 = \xi_2 + \Delta\xi_3.$$

Endlich möge sich die Temperatur um $\Delta t°$ verändern. Das bringt wieder eine Bewegung hervor, welche wir nach den Formeln XIV÷XVIII berechnen können und bekommen so

$$\xi_4 = \xi_3 + \Delta\xi_4.$$

Demnach ist der Gang der Rechnung folgender:

ξ_4 wird beobachtet. Man berechnet die Temperaturcorrection, bringt dieselbe negativ an ξ_4 an und erhält so ξ_3. Es werden nun die Veränderungen in der Stellung der Theile des Instrumentes durch die Temperatur, sowie die irgendwie gefundenen unregelmässigen Veränderungen addirt und mit dem so erhaltenen u und ξ_3, $\Delta\xi_3$ berechnet; dies von ξ_3 abgezogen giebt ξ_2.

Digitized by Google

Mit ξ_2 berechnet man nun $(c-c_0)$ und η nach den Formeln

$$\eta = \gamma_3 \xi_2; \qquad (c-c_0) = (\gamma_1 + \gamma_3 - 1)\xi_2.$$

Damit erhält man die Werthe von $E\eta$ und $C(c-c_0)$. Man muss nun die Stellung der Kuppe und des Spiegels bei horizontaler Stellung des Röhrenarmes also c_0 und y_0 genau kennen. Damit bekommt man die Stände dieser Niveaus bei dem Ausschlag ξ_2. Kennt man genau die Quecksilbermengen, welche die Röhre und der Trog bis zu bestimmten Höhen enthalten, so wird man die wirklichen, in die Röhre und den Trog eingetretenen oder ausgetretenen Quecksilbermassen berechnen können. Von diesen zieht man $C(c-c_0)$ und $E\eta$ ab und bekommt Γ und Δ. Nun kann man $\Delta\xi_1$ und $\Delta\xi_2$ berechnen und, indem man die gefundenen Zahlen von ξ_2 abzieht, erhält man ξ, das dann auf Quecksilbersäule reducirt wird.

Für die letzten Correctionen will ich folgende practische Regeln geben:

$C(c-c_0)$ und $E\eta$ werden stets absolut genommen. Ist dann Γ und Δ positiv, so müssen die absoluten Werthe von ξ_2 um das absolute $\Delta\xi_1$ verkleinert und um das absolute $\Delta\xi_2$ vergrössert werden, und umgekehrt, wenn Γ und Δ negativ sind.

Man kann diese Regeln leicht durch einfache Betrachtung finden:

Sinkt das Rohr, so tritt Quecksilber in die Kammer. Ist dann die Kammer grösser als aus $C(c-c_0)$ berechnet wird, so muss die Röhre schwerer werden und mehr sinken, als der Theorie entspricht. Beim Steigen der Röhre tritt dann mehr Quecksilber aus; die Bewegung muss also auch hier grösser sein und der absolute Werth der Bewegung wird dadurch wieder vergrössert.

Aehnliche Verhältnisse sind beim Trog, nur wird der Ausschlag bei positiven Δ kleiner und der theoretische Ausschlag muss also grösser werden.

IV. Theorie der Construction des Wagebarometers.

Die Verfertigung des Wagebarometers zerfällt in drei Theile. Dieselben sind:

Herstellung der Röhre,
Herstellung des Troges,
Herstellung des Wagebalken.

Die Röhre wird man mit grosser Kammer und engem Rohr

Digitized by Google

machen. Dazu muss man zwei verschiedene Glasröhren aneinander schmelzen. Man kann nun zwar die Röhren wählen, wird aber stets diejenigen nehmen, die am meisten cylindrisch sind und bekommt so C und B gegeben. Ebenso wird man sich den Trog irgendwie verfertigen lassen, möglichst gross im Querschnitt. Es ist so auch E gegeben.

Also bekommen wir folgende Fragen zur Beantwortung:

Wie lang muss die Kammer, wie lang die Röhre gemacht werden? Wie tief muss der Trog sein und wie tief der weite Theil desselben mit dem Querschnitt E?

Ich nehme nun an, dem Maximum Δb_0 der Variation des Luftdruckes vom Mittel an soll die Bewegung der Röhre $-\xi_0$ entsprechen, so muss zunächst folgender Gleichung genügt werden:

$$1) \qquad -\xi_0 = \frac{C}{C-B}\Delta b_0 - \frac{E+C-B}{C-B}\cdot\frac{\Delta F}{E}.$$

In dieser Gleichung 1 ist Alles gegeben mit Ausnahme von ΔF, das sich daraus berechnen lässt. Haben wir aber ΔF, so bekommen wir sofort die Bewegung des Niveau im Trog:

$$2) \qquad \eta_0 = -\frac{\Delta F}{E}.$$

Dies giebt die Aenderung des Niveau im Rohre:

$$3) \qquad (c - c_0) = (\Delta b_0 + \eta_0 - \xi_0).$$

Dieser Werth in Gleichung 3 ist der grösste Werth der Bewegung der Kuppe im Rohr, um soviel wird dieselbe steigen, wenn die Röhre um ξ_0 sinkt, sie wird aber um ebensoviel sinken, wenn das Rohr um $(+\xi_0)$ steigt. Letzteres lehrt uns die Gleichung für ΔF aus der wir sehen, dass ΔF dieselben Werthe nur mit entgegengesetzten Vorzeichen für $\pm\xi$ hat. So bekommen wir die Spielweite der Kuppe im Rohre oder die Länge der Kammer, welche genau cylindrisch sein muss. Dieselbe ist

$$4) \text{ Spielweite der Kuppe } = 2(c - c_0) = 2(\Delta b_0 - \eta_0 + \xi_0),$$

worin η_0 und ξ_0 mit ihren absoluten Werthen eingeführt werden müssen.

Man hat nun die Stelle c' Fig. 6 fixirt, von wo an die Kammer wieder cylindrisch wird, und wird die Kammer von dieser Stelle nach oben mindestens $2(c - c_0)^{mm}$ lang machen müssen. Eine grössere Länge schadet nichts sondern ist aus zwei Gründen gut. Man ist so am

Digitized by Google

besten versichert, dass die Spielweite der Kammer cylindrisch bleibt beim Zublasen derselben, und je grösser das Vacuum ist, desto weniger Einfluss hat Luft, die nach und nach in dasselbe eintritt.

Das offene Ende der Röhre, das von dem Querschnitt AA Fig. 8, bei dem die Kammer cylindrisch wird und bei dem der tiefste Stand der Kuppe im Rohr ist, um c' absteht, muss nun vom Boden des Troges um ξ_0 abstehen, wenn das Niveau in der Röhre bei c_0 stehen soll und in dieser Stellung der Röhrenarm des Wagebalken horizontal ist. Wir haben zunächst

$$5) \qquad \xi + c' + (c - c_0) = b + y_0;$$

hierin ist b der mittlere Barometerstand, bei welchem der Röhrenarm horizontal stehen soll und y_0 der Abstand des Niveau im Trog von dessen Boden, bei derselben Stellung.

In der Gleichung 5 haben wir also zwei Unbekannte, c' und y_0, demnach müssen wir noch eine Gleichung zur Bestimmung derselben suchen.

Bei dem niedrigsten Barometerstand $b - \Delta b_0$ wird die Röhre am höchsten stehen und ebenso das Niveau im Trog. Die Höhe desselben ist $y_0 + \eta_0$. Das offene Ende der Röhre hat dann einen Abstand $2\xi_0$ vom Boden des Troges. Soll das Quecksilber im Trog noch k^{mm} über dem offenen Ende der Röhre stehen, so muss die Gleichung

$$2\xi_0 + k = y_0 + \eta_0$$

erfüllt sein. Daraus ergiebt sich aber

$$6) \qquad \begin{cases} y_0 = 2\xi_0 + k - \eta_0 & \text{und} \\ c_0 = b + (2\xi_0 + k - \eta_0) - (c - c_0) - \xi_0. \end{cases}$$

In diesen Gleichungen sind für $(c - c_0)$, ξ_0, η_0 die **absoluten** Werthe einzusetzen. Die Dimensionen der Röhre sind so bestimmt.

Für den höchsten Stand des Niveau im Trog haben wir dann

$$7) \qquad \begin{cases} \text{Höchster Stand des Niveau im Trog} & y_0 + \eta_0 \\ \text{Tiefster} \quad „ \quad „ \quad „ \quad „ \quad „ & y_0 - \eta_0. \end{cases}$$

Dies giebt auch die Dimensionen des Troges.

Die Röhre wird nun mit einem Bügel an den Wagebalken gehangen und es wird so das Niveau AA der Röhre Fig. 8 um die Länge l vom Aufhängepunct abstehen. Der Aufhängepunct der Röhre soll aber gleich hoch mit der Drehaxe des Wagebalken sein, folglich

Digitized by Google

ist auch der Abstand der Drehaxe des Wagebalken h von dem Boden des Troges gegeben durch die Gleichung

8) $$h = l + c' + \xi_0.$$

Ferner bekommt man die Länge des eingetauchten Rohres

9) $$z_0 = y_0 - \xi_0.$$

Das Gewicht des Rohres bei horizontaler Stellung des Röhrenarmes ist dann

10) $$F_0 = Aufh + Hg + C(c - c_0) - Bz_0$$

und die Menge des nöthigen Quecksilbers

11) $$S = C(c - c_0) + Hg + G + E\eta_0 - Bz_0.$$

Ich komme jetzt zu dem Wagebalken.

Die äusserste Belastung desselben ist:

12) $$\text{Maximum der Belastung} = F_0 + \Delta F.$$

Man wird den Wagebalken so construiren lassen, dass die bei der Entwickelung des Temperatureinflusses gegebenen Bedingungen (Seite 270) möglichst erfüllt sind. Hauptbedingung ist die solide Arbeit und Starrheit der einzelnen Theile. Der Röhrenarm muss möglichst lang sein, die andere Seite muss in zwei Arme gespalten werden. Davon ist einer bestimmt ein Gewicht zu tragen, welches constantes Moment hat, während der andere variabeles Moment giebt. Das erstere wird dazu dienen, die Belastung F_0 des Röhrenarmes bei horizontaler Stellung desselben hervorzubringen, während das zweite die Aenderung ΔF erzeugen soll.

Bei der Wahl der Länge des Röhrenarmes a ist nur darauf zu sehen, dass die Bewegungen bei grossem Ausschlag nicht gar zu klein werden gegen die Bewegungen bei geringem Ausschlag, hervorgebracht durch dieselbe Variation des Luftdruckes, dass also die Empfindlichkeit des Wagebarometers nicht zu sehr sich ändert.

Man wird dies beurtheilen können, wenn man ein Mittel hat, bei einem gegebenen a die grössten Werthe der Glieder mit der dritten und fünften Potenz von ξ schnell zu bestimmen.

Es war nun

$$\Delta F = -\Pi\frac{\varrho}{a^2}\sin\alpha\,\xi - \frac{1}{2}\Pi\frac{\varrho}{a^4}\sin\alpha\,\xi^3 - \ldots\ldots$$

In diesem Ausdruck ist nur das erste Glied gross, das zweite um so kleiner, je grösser a und je kleiner ξ. Für das Maximum ξ haben wir gegeben ΔF und ξ; setzen wir mit grosser Annäherung

Digitized by Google

$$\Delta F = -\Pi \frac{\varrho}{a^2} \sin\alpha\, \xi,$$

so wird das zweite Glied

$$-\frac{1}{2} \Pi \frac{\varrho}{a^4} \sin\alpha\, \xi^3 = \frac{1}{2} \Delta F \left(\frac{\xi}{a}\right)^2.$$

Ist nun gegeben z. B. $\Delta F = 500$ Gramm $\xi = 40^{mm}$, so wird das Maximum des zweiten Gliedes in ΔF 1^{gr} betragen, wenn

$$\frac{1}{2} \cdot 500 \cdot \left(\frac{40}{a}\right)^2 = 1^{gr}$$

$$a^2 = \frac{500 \times 1600}{3}$$

$$a = 630^{mm}.$$

In dem Ausdruck für Δb Abschnitt II ist das Glied mit ξ^3

$$\frac{1}{2} \frac{E+C-B}{E \cdot C} \Pi \frac{\varrho}{a^2} \xi \left(\frac{\xi}{a}\right)^2 = \frac{1}{2} \frac{E+C-B}{E \cdot C} \Delta F \left(\frac{\xi}{a}\right)^2.$$

Der Werth $\frac{E+C-B}{E \cdot C}$ ist hierin um so kleiner, je grösser E und C gegen B sind. Bei $E = 60$, $C = 10$, $B = 2$ ist

$$\frac{E+C-B}{E \cdot C} = \frac{68}{600}.$$

Es wird dann das Maximum dieses Gliedes 1^{mm} werden, wenn

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{600} \cdot 500 \cdot 1600 = a^2$$

$$a = 210^{mm}.$$

Man wird ferner darauf zu sehen haben, dass die beiden nöthigen Gegengewichte ein Minimum werden. Die Hebelarme müssen also so gross als möglich gemacht werden. Der Winkel α muss ferner möglichst 135^0 werden. Ist α grösser, so wird zwar das constante Ausgleichegewicht kleiner werden, es muss aber das Gewicht, welches ΔF erzeugen soll, um so schwerer sein, und umgekehrt, wenn α kleiner als 135^0 ist.

Ist der Wagebalken fertig, wird es sich zunächst um die Lage seines Schwerpunctes handeln. Man bestimmt dieselbe durch das Experiment, und kann dabei zwei Methoden anwenden. Bei der ersten legt man den Wagebalken auf seine Schneide und überlässt ihn sich selbst ohne jede Belastung. Hat man den Abstand des Auf-

Digitized by Google

hängepunctes der Röhre vom Niveau der Drehaxe gemessen, so hängt man an ersteren eine gewogene Wagschale an und legt so viel Gewichte auf, bis der Röhrenarm horizontal steht. Ich denke mir Fig. 9, den Wagebalken durch die drei starrverbundenen Puncte, Schwerpunct, Aufhängepunct der Röhre und Drehaxe dargestellt. In der ersten Lage sind dann die Drehaxe und der Schwerpunct in einer Verticalen. Durch den Abstand des Punctes A von $BB_1 = \xi$ und der Länge des Röhrenarmes $AB = a$ bekommt man

$$\sin\{ABB_1\} = \sin\varphi = \frac{\xi}{a}.$$

In der zweiten Lage hat sich BC um den Winkel φ aus der Verticalen gedreht. Im Schwerpunct wirkt das Gewicht der Wage, in A das angehängte Gewicht F, und es ist

$$\Pi\varrho\sin\varphi = \Pi\varrho\frac{\xi}{a} = Fa.$$

So bekommen wir

$$\varrho = \frac{F}{\Pi}\cdot\frac{a^2}{\xi} \qquad \beta = 90^0 + arc\sin\left(\frac{\xi}{a}\right).$$

Geht dies nicht, so bestimmt man den Ausschlag des Wagebalken durch zwei Gewichte F_1 und F_2 und bekommt dann

$$F_1 = -\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta - \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta\,\mathrm{tg}\,\varphi_1$$

$$F_2 = -\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta - \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta\,\mathrm{tg}\,\varphi_2.$$

Hierin sind F_1, F_2, Π, a, φ_1 und φ_2 bekannt, und man kann daraus ϱ und β berechnen, wenn man $\varrho\cos\beta = x$, $\varrho\sin\beta = y$ setzt. Dies liefert $\mathrm{tg}\,\beta = \frac{y}{x}$ und $\varrho = \sqrt{x^2+y^2}$.

Man misst nun in Fig. 6 AB, BC und CA, berechnet daraus $< ABC = \alpha$ und bestimmt, da $BC = r$, das Gewicht P aus der Gleichung

$$13) \qquad \Delta F = \left\{-\Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta - P\frac{r}{a}\sin\alpha\right\}\mathrm{tg}\,\varphi,$$

worin aus $\sin\varphi = \frac{\xi_0}{a}$, der Werth von $\mathrm{tg}\,\varphi$ zu berechnen ist.

Jetzt bekommt man das Gewicht F, welches man an den Wagebalken anhängen muss, um den Röhrenarm in horizontale Lage zu bringen. Es ist

Digitized by Google

14) $$F = -\Pi\frac{\varrho}{a}\cos\beta - P\frac{r}{a}\cos\alpha.$$

Die Differenz

15) $$X = F_0 - F,$$

worin F_0 durch Gleichung 10 erhalten ist, giebt uns das Gewicht, welches auf Seite der Röhre oder auf der anderen Seite angebracht werden muss, damit bei dem Barometerstand b der Röhrenarm horizontal ist.

Sind die Dimensionen des Instrumentes genau berechnet, so kann man dasselbe bei jeder Temperatur und jedem Barometerstand richtig aufstellen, wenn man die Drehaxe genau um h (Formel 8) über den Boden des Troges bringt und dann durch Regulirung der Quecksilbermasse im Instrument die theoretisch berechnete Menge S herstellt. Ist dann noch der Wagebalken richtig berechnet und die Gewichte P und X richtig angebracht, so muss bei dem Barometerstande b und der Normaltemperatur τ, für welche das Instrument berechnet worden ist, der Röhrenarm genau horizontal stehen.

II. Theil.

Experimental-Untersuchungen.

Theorie der Anwendung des Wagebarometers als Registririnstrument.

Entwurf eines Wagebarometers, das gleichzeitig zu absoluten Bestimmungen und Registriren des Luftdruckes eingerichtet ist.

I. Berechnung des Instrumentes.

Die mittlere Barometerhöhe für Chemnitz ist 734.6^{mm} und der grösste Werth von Δb wurde $\pm 25^{mm}$ genommen. Der grösste Ausschlag sollte $\pm 40^{mm}$ betragen; so war

$$b = 734.6^{mm} \qquad \Delta b_0 = +25^{mm} \qquad \xi_0 = -40^{mm}.$$

Zunächst wählte ich zwei Röhren aus von denen die erste 36^{mm}, die zweite 13.7^{mm} äusseren Durchmesser hatte. Die Röhren wurden mittels Wasser calibrirt und so die Capacitäten bestimmt zu

$$C = 10 \text{ Gramm} \quad \text{und} \quad B = 2 \text{ Gramm}.$$

Den Trog liess ich mir vom Tischler machen. Es wurde in einem

Digitized by Google

Holzklotz mit quadratischem Querschnitt von 105^{mm} Seite und 108^{mm} Höhe ein Würfel von 70^{mm} Seite ausgestemmt und in der Mitte noch eine Röhre von 30^{mm} Durchmesser und 80^{mm} Tiefe gebohrt. Die Wand der würfelförmigen Vertiefung war an zwei gegenüberliegenden Stellen durchbrochen und Glastafeln eingekittet, von denen die eine mit einer Millimetertheilung versehen war. So konnte man die Quecksilberkuppe im Trog sehen. Der Trog wurde nun mit Wachskitt ausgegossen, so alle Poren desselben verschlossen und die Wände glatt gemacht. Durch Calibriren mit Quecksilber bestimmte ich die Capacität des Troges $E = 58.4$ Gramm.

Jetzt wurden die beiden Röhren zusammengeblasen. Es ergab sich zunächst aus Abschnitt IV

Gl. 1) $$-\xi_0 = \frac{C}{C-B}\Delta b - \frac{E+C-B}{C-B}\cdot\frac{\Delta F}{E}$$
$$-40 = \frac{10}{8}\cdot 25 - \frac{58.4+10-2}{10-2}\cdot\frac{\Delta F}{58.4} \qquad \Delta F = 498.9 \text{ Gr.}$$

Gl. 2) $$\eta = -\frac{\Delta F}{E} = -\frac{498\,9}{58.4} \qquad \eta = -8.54^{mm}$$

$$2(c-c_0) = 2(\Delta b - \eta + \xi) \text{ \{absolut genommen\}}$$
$$= 2\{25+40-8.5\} \qquad 2(c-c_0) = 115^{mm}.$$

Bei dem höchsten Stand des Rohres sollten noch 10^{mm} Quecksilber über dem offenen Ende desselben sein, folglich war $k = 10$ und damit

$$y_0 = 2\xi_0 + k - \eta = 80 + 10 - 8.5 = 81.5 \qquad y_0 = 81.5^{mm}$$
$$c' = b + y_0 - (c-c_0) - \xi_0$$
$$= 734.6 + 81.5 - 57.5 - 40 \qquad c' = 718.6^{mm}.$$

Nachdem nun die Röhre vollständig fertig gemacht und der Kammer eine Länge von circa 14^{cm} gegeben war, wurde die Röhre mit einer Millimetertheilung versehen. Zu dem Zwecke bestrich ich die Röhre mit Wachskitt und riss die Scala in denselben. Dann wurde die Röhre geätzt. Zum Aetzen benutzte ich einen Bleitrog, in dem Flussspath mit concentrirter Schwefelsäure so lange erhitzt wurde, bis dicke Dämpfe von Flusssäure aufstiegen. Darüber hielt ich die Röhre so lange, dass jeder Theil der Scala ungefähr 10^{m} den Dämpfen exponirt war. Durch dieses Verfahren, welches mich der Herr Gewerbschullehrer Merz lehrte, bekam ich eine schön

Digitized by Google

sichtbare Scala. Der Querschnitt AA, von welchem aus die Kammer wieder cylindrisch wurde, befand sich bei dem Theilstrich 124^{mm} und die Länge von diesem bis zum Ende der Röhre betrug 738.5^{mm}. Demnach ist die Röhre 20^{mm} zu lang. Es wurde nichts abgeschnitten, da dieser Umstand nur dann störend einwirkt, wenn der Trog nicht tief genug ist. Die Quecksilbermenge vom offenen Ende bis zum Theilstrich 124^{mm} betrug $Hg = 1047$ Gr. Das Niveau im Trog sollte, da η ziemlich 1^{cm}, bei dem Theilstrich 20^{mm} am Trogfenster stehen. Ich fand demnach $G + E\eta_0 = 1770$ Gr. (Seite 268).

Die Aufhängevorrichtung wurde aus einem Messingbügel gemacht, der an einer Messingscheibe ansass. Durch diese ging der enge Theil des Rohres hindurch und der weite Theil sass so fest auf der Scheibe auf. Um ihm noch besseren Halt zu geben, wurde um diesen Theil der Röhre ein Gypsmantel gegossen, der auf der Messingscheibe aufsitzt und dieser mit Stearin getränkt. Die leere Röhre mit sammt der ganzen Aufhängevorrichtung wog

$$Aufh = 274.5 \text{ Gramm} + 163.5 \text{ Gr.} = 438.0 \text{ Gr.}$$

Nun wird

$$z_0 = y_0 - \xi_0 = 81.5 - 40 = 41.5^{mm},$$

die Röhre ist aber 20^{mm} zu lang, folglich giebt dies

$$z_0 = 61.5^{mm}.$$

Da $Hg = 1047$ Gr. $Aufh = 438$ Gr. $(G + E\eta_0) = 1770$ Gr. bekomme ich

$$F_0 = Aufh + Hg + C(c - c_0) - Bz_0 =$$
$$438.0 + 1047.0 + 10 \times 57.5 - 2 \times 61.5 = 1931 \text{ Gr.} \qquad \underline{F_0 = 1931 \text{ Gr.}}$$

$$S = Hg + (G + E\eta_0) + C(c - c_0) - Bz_0 =$$
$$1047 + 1770 + 575 - 123 = 3270 \text{ Gr.} \qquad \underline{S = 3270 \text{ Gr.}}$$

Der Abstand der Axe vom Boden des Troges ist

$$h = l + c' + \xi_0;$$

der Boden des Troges liegt aber y_0 tiefer als der Spiegel des Quecksilbers im Trog, folglich ist

$$h_1 = l + c' + \xi_0 - y_0$$

der Abstand des Spiegels im Trog von der Drehaxe bei horizontalem Stande des Röhrenarmes. Da der Spiegel aber in dieser

Digitized by Google

Stellung bei dem Theilstrich 20^{mm} am Trogfenster stehen soll, so bekommen wir den Abstand des Theilstriches 20^{mm} am Trogfenster, von der Drehaxe

$$h_1 = 223 + 718.6 + 40 - 81.5 = 901^{mm}.$$

Diese Bedingung lässt sich mit Hilfe des Kathetometers jede Zeit realisiren.

Der Wagebalken.

Herr Mechanicus Lorenz in Chemnitz verfertigte nach meiner Zeichnung den Wagebalken, wie er Fig. 10 dargestellt ist. Die beiden Arme desselben waren prismatische Körper von Rothguss, 23^{mm} hoch, 6^{mm} breit; die Länge des Röhrenarmes betrug 155^{mm}, die des anderen Armes 300^{mm}. Die drei Stahlmesser, deren Schneiden B und C die Aufhängepuncte der Röhre darstellen, während A die Drehaxe ist, haben Querschnitte, welche gleichseitige Dreiecke von 8^{mm} Seite darstellen.

Ich machte mir dazu die Vorrichtung zur Aufnahme des constanten Ausgleichegewichts X; dieselbe besteht einfach aus einer Schraubenspindel, die durch eine Klemme auf AC festsitzt und senkrecht gegen AB ist. Das Ausgleichegewicht wurde von Blei gemacht, welches um ein Stück Messingröhre gegossen und dann auf die bestimmte Grösse abgedreht wurde. Durch eine Schraubenmutter wurde das Gewicht in bestimmter Stellung gehalten. Die Art der Auflage des Wagebalken sieht man aus Fig. 11 deutlich, ich brauche keine Erklärung dazu zu geben.

Die Bestimmung des Schwerpunctes des Wagebalken mit Ausgleichevorrichtung wurde so ausgeführt, dass bei zwei verschiedenen Belastungen F_1 und F_2 die Höhendifferenzen der Schneide am Röhrenarm und der Drehaxe bestimmt wurden und daraus berechnet

$$\varrho = 89.7^{mm} \qquad \beta = 123^{0}\,48'\,48'' \qquad \Pi = 720 \text{ Gramm}.$$

Nun wurde der Wagebalken auf einem Brett befestigt, je zwei der Schneiden vertical untereinander gebracht und mit dem Kathetometer die Längen

$$AB = a = 143.46^{mm} \qquad AC = r = 277.70^{mm} \qquad BC = 390.64^{mm}$$

gemessen. Daraus berechnet sich

$$< \alpha = < BAC = 133^{0}\,29'\,48''.$$

So bekam ich aus der Gleichung

Digitized by Google

$$\Delta F = \left(-P\frac{r}{a}\sin\alpha - \Pi\frac{\varrho}{a}\sin\beta\right)\operatorname{tg}\varphi \qquad P = 936.8 \text{ Gramm.}$$

Dies giebt die Belastung des Wagebalken bei horizontaler Stellung des Röhrenarmes

$$F = 1518 \text{ Gramm},$$

folglich ist

$$X = F_0 - F = 1931 - 1518 = 413 \text{ Gramm.}$$

Dies bedeutet das Gewicht in der Entfernung $143.46^{mm} = a$ von der Drehaxe.

Die Axe der Schraubenspindel der Ausgleichevorrichtung stand 152.5^{mm} von der Drehaxe ab, folglich muss das Gegengewicht wirklich sein

$$X' = 413 \cdot \frac{143.4}{152.5} = 385 \text{ Gramm.}$$

II. Ueber die Messungen mit dem Kathetometer.

Es kann nicht meine Absicht sein, eine vollständige Besprechung der Messungen mit dem Kathetometer zu geben, sondern ich halte nur für nöthig, eine kurze Beschreibung des Instrumentes und die Ableitung der Resultate aus Beobachtungen mit demselben zu geben, damit man sich von der Genauigkeit und dem Zutrauen, das man den folgenden Messungen schenken darf, einen Begriff machen kann.

Das Kathetometer, ein ganz neues Instrument von Staudinger in Giessen hat die Schiene, welche den Maassstab und das Fernrohr trägt, getrennt von der verticalen Drehaxe. Es ist so möglich die Drehaxe vollständig vertical zu stellen und dann den Maassstab der Drehaxe parallel zu machen. Der letztere ist in Millimeter getheilt und hat bei $+ 14^{\circ}$ C. seine normale Länge. Mit dem Nonius kann man $1/20^{mm}$ direct ablesen und auch noch 0.01^{mm} mit ziemlicher Genauigkeit schätzen. Die Theilung wurde mit einem Normalmeter und Normalfuss, welche der Königl. Höheren Gewerbschule zu Chemnitz gehören, verglichen und als sehr gut gefunden. Das Niveau ist zum Umsetzen, auch kann das Fernrohr in seinen Lagern umgelegt werden.

1^{p} des Niveau entspricht einem Zielfehler von 0.036^{mm} in 1^{meter} Distanz. Es wurde besondere Sorgfalt auf die Bestimmung dieser Grösse und der Fehler des Niveau gewendet, bei dem Gebrauch des Kathetometers nach jeder Einstellung das Niveau abgelesen und die betreffenden Correctionen an den abgelesenen Zielhöhen angebracht. Die

Digitized by Google

verticale Drehaxe ist sehr gut gearbeitet, bei Drehung des Instrumentes wich die Blase nicht von der Stelle, so dass man Nivellirungen in den verschiedenen Azimuthen ohne jede Correction ausführen konnte. Ich untersuchte ferner die Aenderung des Collimationsfehlers des Fernrohrs bei verschiedenen Zielweiten. Es ergab sich, dass derselbe bei den Distanzverschiedenheiten, die beim Gebrauch vorkamen, vollständig als gleich Null betrachtet werden konnte.

Bei jeder Einstellung wurde ferner die Temperatur des Kathetometers abgelesen und die betreffende Correction angebracht nach der Formel

$$\Delta h = 0.00002\,(t-14)\,h.$$

Diese Correction ist negativ, wenn $t^0 > 14^0$ ist, da dann die Länge mit einem grösseren Maassstabe gemessen ist, als bei 14°, sie ist positiv für alle Temperaturen unter $+14^0$ C.

Der Ausdehnungscoëfficient der Kathetometerscala wurde durch besondere Versuche bestimmt, die Herr Prof. Weinhold unter meiner Assistenz ausführte zu 0.00002 pro 1° C.

III. Definitive Bestimmung der Constanten am Instrument.

Die in Abschnitt I berechneten Zahlenwerthe wurden bei der Construction des Instrumentes möglichst berücksichtigt und es begann nun die definitive Bestimmung der Constanten.

Zuerst wurde die Theilung am Rohr mit der Kathetometerscala verglichen. In den einzelnen Theilstrichen zeigten sich keine hervortretenden Fehler; die ganze Länge 862.5^{mm} war um 0.2^{mm} bei $+8^0$ C. zu gross. Dann wurde die Röhre calibrirt. Ich benutzte hierzu ein kleines Gefäss, dessen Capacität ungefähr 50 Gr. betrug und das mit einem gut aufgeschliffenen Deckel versehen war. Mit diesem füllte ich das Quecksilber durch eine lange Trichterröhre ein, welche bis dicht vor das schon eingefüllte Quecksilber reichte, und las nach jedem Gefäss den Stand der Kuppe an der Röhrenscala ab. Dies wurde fortgesetzt bis das Rohr ganz voll war. Die Temperaturen waren zu Beginn und am Ende dieser Operation abgelesen, es wurde daraus das Mittel genommen. Jetzt wurde das ganze Quecksilber gewogen, ich bekam so das Gewicht G_t, welches die Röhre bei t^0 fasst. Demnach kann die Röhre bei 0° ein Gewicht Quecksilbers G_0 enthalten und es ist

$$G_0 = G_t + G_t w_t.$$

Digitized by Google

Die Bedeutung von w_t findet sich im theoretischen Theil Abschnitt III Seite 275.

Nun wurden für $t = 0,\ 5^0,\ 10^0$ etc. die Grössen G_0, G_5, G_{10} etc. berechnet. Dividirt man diese durch die Zahl der eingegossenen Gefässe n, so bekommt man, wenn die Ablesungen beim Calibriren an der Röhrenscala a_1, a_2, a_3 etc. waren, da zwischen diesen stets gleiche Volumina lagen, die Capacität der Röhre bis zu jedem dieser Theilstriche,

bei 0^0 zu 1. $\frac{G_0}{n}$; 2. $\frac{G_0}{n}$; 3. $\frac{G_0}{n}$ etc.

bei 5^0 zu 1. $\frac{G_5}{n}$; 2. $\frac{G_5}{n}$; 3. $\frac{G_5}{n}$ etc.

. . . . . .

Ich legte mir diese Zahlen tabellarisch an, nahm die Ablesungen a_1, a_2 etc. und die Temperaturen als Argumente und konnte so bei jeder Temperatur die Menge Quecksilbers aus den Tafeln finden, welche bei jedem beliebigen Stande der Kuppe im Rohre enthalten war.

Genau dasselbe Verfahren wurde beim Trog angewendet.

Bei 0^0 fasst die Röhre bis zu dem Theilstrich 11.0^{mm} 204.1 Gr., bis 124.0^{mm} 1326.5 Gr. Quecksilbers, also auf 113^{mm} Kammerlänge 1122.4 Gr. Demnach war $C = 9.944$ Gr.; $B = 2.004$ Gr. Für E fand sich so $E = 58.36$ Gr.

Jetzt kam der Wagebalken an die Reihe.

Das Gegengewicht P wurde so genau als möglich zu 937 Gr. dargestellt. Das Ausgleichegewicht X' sollte 385 Gr. schwer sein; ich hielt es für zweckmässiger, dasselbe schwerer zu machen. Es bekam so ein Gewicht von 472 Gr., was in der Entfernung a 502 Gr. ausmacht. Da aber $X = 413$ Gr. betragen soll, mussten 89 Gr. auf Seite der Röhre angebracht werden. Dies geschah auch und zwar wurden die 89 Gr. in Gestalt von Bleiblech angebracht, das möglichst tief um die Röhre gewickelt wurde. So bekam die Röhre ein grösseres stabiles Gleichgewicht im verticalen Sinne und der Gypsmantel hatte bei sehr vollem Rohre nicht einen so grossen seitlichen Druck auszuhalten. Das Ausgleichegewicht, zu dem auch die Schraubenmutter gehörte, mittels deren es auf der Spindel befestigt werden sollte, musste nun so befestigt werden, dass sein Schwerpunct in die Linie AB (Fig. 10) fällt. Ich konnte das daran sehen, dass der Ausschlag

Digitized by Google

des Balken durch dasselbe ΔF immer derselbe sein musste. Demnach brachte ich den Röhrenarm ohne Ausgleicher in horizontale Stellung und bestimmte den Ausschlag durch Auflegen von 500 Gr. Nachdem diese weggenommen waren, legte ich 502 Gr. auf, brachte den Ausgleicher an und verschob denselben so lange, bis der Röhrenarm wieder horizontal stand. Bei Auflegen von 500 Gr. musste nun wieder derselbe Ausschlag hervorgebracht werden, wenn die Verhältnisse genau gemessen und berechnet waren. Da das hier mit genügender Genauigkeit stimmte, konnte ich zu den Endmessungen am Wagebalken gehen. Die einzelnen Theile wurden gut befestigt und nun der Wagebalken mit X' und P gewogen. Es fand sich

$$\Pi = 2172.8 \text{ Gr.}$$

Durch Anhängen von 1273.3 Gr. zeigte der Wagebalken jetzt einen Ausschlag von ungefähr $+ 40^{mm}$. Ich mass diesen möglichst genau und bestimmte dann die Ausschläge, die durch Auflegen von je 50 Gr. hervorgebracht wurden. Ich bekam so zur Bestimmung von ϱ und α 20 Beobachtungen. Es wurden zwei Reihen von Bestimmungen der Lage des Schwerpunctes gemacht, die eine bei einer Temperatur von 10° C. des Instrumentes, die andere bei 25°. Ich berechnete nun jede dieser Bestimmungen nach der Formel

$$-P\frac{a}{\Pi} = \varrho\cos\alpha + \varrho\sin\alpha\,\mathrm{tg}\,\varphi,$$

indem ich $-\varrho\cos\alpha = E_1$, $-\varrho\sin\alpha = E_2$, $P\frac{a}{\Pi} = U$ setzte und bekam die 20 Bedingungsgleichungen

$$\begin{aligned} U_1 &= E_1 + E_2\,\mathrm{tg}\,\varphi_1 \\ U_2 &= E_1 + E_2\,\mathrm{tg}\,\varphi_2 \\ &\cdots\cdots\cdots \end{aligned}$$

Daraus erhielt ich die Normalgleichungen zur Bestimmung von E_1 und E_2 zu

$$\begin{cases} 0 = -\Sigma U + nE_1 + (\Sigma\,\mathrm{tg}\,\varphi)E_2 \\ 0 = -\Sigma(U\,\mathrm{tg}\,\varphi) + (\Sigma\,\mathrm{tg}\,\varphi)E_1 + (\Sigma\,\mathrm{tg}^2\varphi)E_2. \end{cases}$$

Es ergab sich

$$E_1 = -\varrho\cos\alpha = 133.43146 \qquad E_2 = -\varrho\sin\alpha = -113.88852$$

und daraus

$$\varrho = 175.44^{mm} \qquad \alpha = 139^0\,31'\,10''.$$

Digitized by Google

Wie zu erwarten war und im theoretischen Theil Abschnitt III schon gezeigt wurde, hat die Temperatur keinen Einfluss auf die Angaben des Instrumentes.

Das Gewicht F, welches bei einem Ausschlag ξ des Wagebalken am Röhrenarm hängt, ist nach diesen Zahlenwerthen gegeben durch die Gleichung

$$F = 2020^{gr}9 - 12^{gr}023\,\xi - 0^{gr}000\,2921\,\xi^3 - 0^{gr}0000\,0001\,06\,\xi^5.$$

Für $\xi = 0$ wird

$$F_0 = 2021 \text{ Gr.}$$

Wir fanden das Gewicht des Röhrensystems bei dieser Stellung Seite 291 zu

$$F_0 = 1931 \text{ Gr.}$$

und sehen also, dass wir das Bleiblech zu

$$2021 - 1931 = \underline{90} \text{ Gr.}$$

machen müssen. Auf Seite 295 haben wir es zu 89 Gr. gefunden, die Vorausberechnung stimmt also mit den definitiven Messungen sehr gut überein.

IV. Das Füllen der Barometerröhre.

Zur Füllung der Röhre wandte Herr Prof. Weinhold folgende Methode an:

Der Fig. 12 dargestellte Apparat besteht aus einer Quecksilberluftpumpe, einem Dampferzeugeapparat, einem Dampfmantel in dem sich die Röhre befindet, und einer Schale mit Quecksilber, in der das einzufüllende Quecksilber bis nahe zum Kochen erhitzt wird.

Die Röhre sieht aus dem Dampfmantel mit einem kleinen Stück heraus. Es befindet sich an dem offenen Ende derselben ein Glasaufsatz, den ich den Helm nennen werde und der in Fig. 13 dargestellt ist. Dieser Helm ist ein Stück weiten Glasrohres, das gerade über das Barometerrohr passt; oben ist in dasselbe eine enge Glasröhre eingeschmolzen, die bis nahe an die Mündung des Barometerrohres reicht und hier eine feine Oeffnung hat. An der Seite ist dem Helm ebenfalls ein enges Röhrchen eingesetzt. Das erstere A wird über der Gasflamme in einen dünnen Faden ausgezogen, der also ein biegsames capillares Rohr darstellt, am Ende zugeschmolzen und in das Quecksilber in der Schale getaucht. Das zweite Röhrchen B wird

Digitized by Google

ebenso in ein capillares Rohr verwandelt und mit der Quecksilberluftpumpe in Verbindung gebracht. Diese dünnen Röhren haben genügende Biegsamkeit, Festigkeit und ihre Verbindung kann mit Siegellack leicht bewerkstelligt werden. Der Helm ist ebenfalls mit Siegellack auf der Röhre befestigt. Nun erhitzt man die Röhre durch Dampf auf 100°, zu gleicher Zeit erwärmt man das Quecksilber in der Schale bis nahe zum Kochen, und pumpt dabei tüchtig aus. Ist die Röhre genügend warm und luftleer, was man an dem harten Ton der Quecksilberluftpumpe leicht erkennen kann, wird die Spitze des capillaren Rohres A, welche in das Quecksilber taucht, unter demselben abgebrochen, und nun tritt das Quecksilber durch den Luftdruck in die Röhre ein. Während es so durch die feine Oeffnung bei C in einem dünnen Strahle in die Röhre gelangt, fährt man mit Kochen und Auspumpen der Röhre fort. Sowie das Quecksilber in der Röhre bis C steht, wird die Luftpumpe durch Abschmelzen des capillaren Röhrchens bei A abgeschnitten, man lässt den Helm sich ruhig mit Quecksilber füllen und erkalten. Die Operation ist sehr bequem und bei einiger Vorsicht kann kaum etwas geschehen. Man kann die Röhre in dünnes Zeug packen und wird so jedes Anspritzen von kaltem Wasser unschädlich machen.

V. Die Beobachtungen.

Nachdem das Instrument aufgestellt war, wurde durch Ablesen der Stände der Kuppen im Trog und in der Röhre, nach den Capacitätstafeln das Gewicht des im Apparat befindlichen Quecksilbers berechnet; dann entfernte ich das überflüssige Quecksilber und stellte so die durch die Vorausberechnung geforderten Bedingungen her.

Die Beobachtungen selbst bestanden in Vergleichungen der Bewegung des Wagebarometers mit dem Wagebarometer, als Normalbarometer behandelt und mit einem Greiner'schen Heberbarometer, und in der Prüfung der Constanz der einzelnen Theile des Instrumentes.

Da sich das Niveau im Trog schlecht einstellen lässt, brachte ich einen verticalen verschiebbaren Stahlstab über dem Troge an und stellte dessen Spitze jedesmal auf das Quecksilberniveau ein. Die Länge des Stiftes war gemessen und es wurde auf das obere Ende desselben das Kathetometer eingestellt. Wurde dann das Ocular des Kathetometerfernrohres soweit verschoben, dass man hinter dem Stift die Scala am Rohr ablesen konnte, so erhielt man zugleich den Stand

Digitized by Google

des Endes des Stabes an der Röhrentheilung. Der Stab wurde stets auf den Quecksilberspiegel eingestellt, nachdem die Kuppe der gehobenen Quecksilbersäule visirt war.

Bei jeder Beobachtungsreihe wurde zuerst am Instrumente beobachtet, wie es stand; dann aber wurde das Instrument bewegt und darnach dieselben Beobachtungen wiederholt. Die ersten Beobachtungen müssen alle Fehler der Reibung, Trägheit etc. haben. Den Modus der Beobachtungen will ich gleich an einem vollständigen Beispiel zeigen.

Nr. 27.

Barometer 5°3 C. 740.55^{mm}.

Temperaturen: Oberes Thermom. 7°2 C. Unteres Thermom. 6°3 C. — Thermom. am Kathetom. 7°6 C.

Object, das visirt wird	Niveau		Nonius ^{mm}	Ablesungen am Nonius corrigirt von der Neigung ^{mm}
Axe	— 8.0	+ 15.8	925.75	925.99
Schneide . . .	7.8	15.9	914.48	914.72
51^{mm} Rohr . .	8.5	15.0	765.01	765.21
Kuppe . . .	8.7	14.9	764.26	764.44
624.6^{mm} Stab .	17.2	6.3	191.50	191.18
22^{mm} Trog . .	16.1	7.4	25.65	25.39
Bewegen des Instrumentes, Aufziehen des Kathetometerfernrohres.				
Axe	7.6	15.9	925.71	925.97
Schneide . . .	7.7	15.6	914.06	914.30
51^{mm} Röhre . .	8.3	14.9	764.65	764.85
Kuppe . . .	8.2	15.0	764.47	764.68
624.6^{mm} Stab . .	16.9	6.4	191.30	190.99
22^{mm} Trog . .	16.0	7.2	25.64	25.38

Barometer 5°2 C. 740.60^{mm}.

Temperaturen: Oberes Thermom. 8°3 C. Unteres Thermom. 7°3 C. — Thermom. am Kathetom. 8°1 C.

Die mit Barometer bezeichneten Ablesungen sind am Heberbarometer gemacht. Die Dauer einer Beobachtungsreihe betrug 0^{h}8. Derartige Beobachtungen wurden gemacht, so lange die Temperatur des Locals möglichst constant gehalten wurde.

Nun variirte ich durch Heizen die Temperatur bis zu 35° C. Bei dieser gewaltsamen Aenderung der Temperatur zeigten die Thermo-

Digitized by Google

meter oben und unten am Instrumente bedeutende Differenzen. Ich glaubte daher, das directe Messen der Quecksilbersäule des Wagebarometers als unnütz bei Seite lassen zu müssen. Ein Fehler von 1° in der Temperatur der Quecksilbersäule wirkt schon in den Zehntelmillimetern und die Vergleichung des Wagebarometers mit offenbar falschen Angaben schien mir zwecklos zu sein. Daher wurden die Beobachtungen bei hohen Temperaturen abgekürzt und stellten sich folgendermassen dar:

Nummer der Beobachtung 78. März 18. 5^h Nachmittag.

Temperaturen: 31° C. 27°2 C. 24°0 C. {Quecksilber im Trog}. — Kathetom. 26°5 C.

Visirtes Object	Niveau		Nonius	Corrigirt von Neigung
Axe	— 3.0	+ 13.3	925.50	925.79
Schneide . . .	3.0	12.4	936.21	936.49

Bewegen des Instrumentes.

Barometer + 9°0 C. 726.12mm.

Schneide . . .	— 2.5	+ 12.7	936.45	936.77
Stab	— 11.9	+ 3.3	195.71	195.46

Stand der Kuppe an der Röhrenscala abgelesen 82.0mm.
Ablesung des Stabendes an der Röhrenscala 642.8mm.

Die Prüfung der Constanz der einzelnen Theile erfolgte dann in besonderen Beobachtungen.

Ich bekam im Ganzen 76 Messungen, von denen 47 vollständige, die anderen abgekürzte sind. Ich bekam Ausschläge von — 23mm bis + 29mm und eine Temperaturschwankung von $6^0 \div 27^0$. Die Beobachtungen lieferten nun folgende Rechnungsdaten:

Als Temperatur wurde das Mittel aus sämmtlichen abgelesenen Temperaturen genommen.

Aus den beiden Barometerablesungen vor und nach der Beobachtung liessen sich die Barometerstände zur Zeit der Messung am Normalbarometer ermitteln. Dann gaben die Differenzen zwischen Schneide und Axe die Ausschläge ξ, die Differenz zwischen Kuppe und x^{mm} Rohr den Abstand der Kuppe von diesem Theilstrich des Rohres, folglich auch den Stand der Kuppe im Rohr. Durch Abziehen der Länge des Niveaustabes 167.65mm von der Visur des oberen

Digitized by Google

Endes desselben (Stab) bekam ich die Visur des Niveau im Trog. Die Differenz derselben mit der Visur der Kuppe giebt den Normalbarometerstand, der auf 0° reducirt werden muss. Ferner bekomme ich durch die Visur des Niveau im Trog, den Abstand des Niveau von einem Theilstrich am Trogfenster und damit den Stand des Spiegels im Trog am Trogfenster. Wird schliesslich zu der Ablesung am Rohr, im Niveau des oberen Stabendes, die Länge des Stabes addirt und dies von der ganzen Länge des Rohres abgezogen, so erhält man die Länge des eingetauchten Rohres, und die Differenz zwischen Schneide und x^{mm} Theilstrich am Rohr giebt die Länge dieses Abstandes und folglich auch den Abstand des Theilstriches 124^{mm} von der Schneide. Diese Grösse soll constant sein und giebt, wenn sie dies nicht ist, die Veränderung der Länge der Aufhängevorrichtung. Man findet alle diese Rechnungsdaten in der Tafel I.

Ich hätte nun zur Correction der ξ die Werthe, wie sie in der Vorausberechnung gefunden worden, zu Grunde legen können, zog es aber vor, eine directe Beobachtung zu benutzen und zwar Nr. 28.

Dem Ausschlag $\xi = 0.14^{mm}$ entspricht $\Delta b = -0.08^{mm}$, $\eta = 0$. Es wurde demnach angenommen:

Normaltemperatur $\tau = 7°0$,
Normalbarometer $= 733.76^{mm} = b$; Heberbarometer 733.34^{mm} bei $\xi = 0$, reducirt auf 0°,
Stand der Kuppe im Rohre $67.5^{mm} = c_0$,
Länge des eingetauchten Rohres $z_0 = 61.0^{mm}$,
Stand des Spiegels im Troge $y_0 = 22.4^{mm}$,
Abstand des Theilstriches 22^{mm} des Trogfensters von der Axe $= 900.50^{mm}$,
Abstand des Theilstriches 110 auf Röhre von der Schneide $= 208.41^{mm}$.

Die Ausdehnungscoëfficienten wurden angenommen

$$\mu t + \lambda t^2 = 0.00017901\, t + 0.00000003\, t^2$$
$$\gamma \text{ Glas} = 0.000008$$
$$\gamma \text{ Holz} = 0.000004.$$

Mit diesen Werthen bekam ich zunächst die Function für Δb

$$\Delta b = -0.57449\, \xi - 0.0000333\, \xi^3 - 0.0000000012\, \xi^5.$$

Damit berechnete ich eine Tafel mit dem Argument ξ.

Digitized by Google

Es folgte jetzt die Bestimmung der Grössen γ_1 γ_2 γ_3.

Es ergab sich

$$\Delta b_1 = -0.57 \quad \Delta b_{10} = -5.78 \quad \Delta b_{20} = -11.77 \quad \Delta b_{30} = -18.16.$$

Daraus wird die Variation des Luftdrucks, die 1^{mm} Rohrbewegung entspricht, an den verschiedenen Stellen

-0.570, -0.578, -0.588, -0.605 also im Mittel -0.585.

Demnach ist

$$\Delta b = -0.585\,\xi; \quad \gamma_1 = -0.585.$$

Analog wurde gefunden nach der Gleichung (Seite 297)

$$F = 2020.9 \text{ Gr.} - 12.023\,\xi - 0.0002921\,\xi^3 - 0.0000000106\,\xi^5$$

$$\eta = -\frac{\Delta F}{E} = +0.207\,\xi; \quad \gamma_3 = +0.207,$$

$$\Delta z = \eta - \xi = (+0.207 - 1)\,\xi = -0.793\,\xi; \quad \gamma_2 = -0.793.$$

So wird

3 a. $$(c - c_0) = (\gamma_1 + \gamma_3 - 1)\,\xi = -1.378\,\xi.$$

Es ist also

1 a. $$\underline{\gamma_1 = -0.585 \quad \gamma_2 = -0.793 \quad \gamma_3 = +0.207}$$
$$\underline{(c - c_0) = -1.378\,\xi \quad EA' = -12.023.}$$

Zunächst musste die Temperaturcorrection berechnet werden. Ich rechnete dieselbe nach der strengen Formel und entwarf mir eine Tabelle mit doppeltem Argument. Die Temperatur wurde von Grad zu Grad und der Ausschlag von 2^{mm} zu 2^{mm} genommen, ich gebe sie hier Seite 316 aber nur von 3 zu 3 Grad und 10^{mm} zu 10^{mm}. Dann wurde die Correction Gleichung XIII a (Seite 270) berechnet. Die Formel war

XIII a. $$d\xi = \pm \frac{(C - B)}{A'(E + C - B) + (C - B)}\,u.$$

Wir fanden aber Seite 280 $C\gamma_1 = (C - B) + A'(E + C - B)$, folglich können wir schreiben

$$d\xi = \pm \frac{(C - B)}{C\gamma_1}\,u = u\,\frac{C - B}{C} \cdot \frac{1}{\gamma^1} = \frac{A}{\gamma_1}\,u.$$

Es ist dies die Entwickelung zu Gleichung XIII a Seite 270, woselbst letzte Formel geschrieben habe, ohne sie zu beweisen.

Digitized by Google

Ich bekomme aus Gleichung XIII a, da das $d\xi$ negativ an den beobachteten Werthen ξ anzubringen ist,

2 a. $d\xi = (\pm 1.20\, u)$. {Das erste Vorzeichen gilt bei Hebung des Troges.}

Die Gleichungen XIII auf Seite 269 ergeben sich zu

4 a. $$\xi_0 = \xi - \frac{\Gamma}{(E-B)A'-B} + \frac{\Delta}{EA'} = \xi - \frac{\Gamma}{13.61} + \frac{\Delta}{12.023},$$

worin also ξ stets absolut gedacht wird, Γ und Δ positiv sind, wenn das wirkliche Volumen grösser als das theoretische ist. (Siehe Seite 283.)

In den drei Tafeln I, II, III findet man das ganze Beobachtungsmaterial zusammengestellt.

Die ersten beiden Spalten einer jeden enthalten die Beobachtungsnummer und die Temperatur.

Tafel I.

Spalt 3 und 4 sind auf 0^0 reducirte Längen von Quecksilbersäulen des Wagebarometers, als Normalinstrument mit dem Kathetometer gemessen, und des Heberbarometers.

Spalt 5 giebt die abgelesenen ξ. In 6 und 7 sind die Stände der Kuppe im Rohr, an der Scala des Rohres, und des Spiegels im Trog, an der Fenstertheilung desselben, enthalten. 8 giebt die Längen des eintauchenden Rohres.

9 und 10 sind die Werthe, welche zur Ermittelung der Grössen u in Formel 2 a dienen. Es sind in 9 die Abstände eines festen Punctes am Trog von der Axe gegeben und 10 enthält die Abstände eines festen Punctes der Röhre von dem Aufhängepunct derselben.

Tafel II.

Diese Tafel ist überschrieben: „Correction der Beobachtungen."

In dem dritten Spalt derselben findet man wieder die abgelesenen ξ. In Spalt 4 sind sie von der Temperatur befreit. 5 enthält die u bestimmt aus Spalt 9 und 10 der Tafel I, 6 das resultirende u und 7 die Correction $d\xi = \pm 1.20\, u$. In 8 gebe ich die den $\Delta\xi$ entsprechenden Δb nach der Formel $\Delta b = \gamma_1 \xi$ berechnet.

Ich berechnete nun mit den von der Temperatur befreiten ξ die Werthe $(c - c_0)$ nach Gleichung (3 a), dieselben stehen in Spalt 9.

Digitized by Google

Werden dieselben, Spalt 10, zu dem Stand der Kuppe in der Normallage an der Röhrenscala 67.5^{mm} hinzugefügt, bekomme ich die Stände der Kuppe, welche dieselbe gezeigt haben würde, wenn die Temperatur constant $= 7^0$ geblieben wäre. In 11 findet man die Quanten Quecksilbers, welche die Röhre vom geschlossenen Ende an bis zu den Ständen der Spalte 10 enthält, berechnet nach der Calibrirungstabelle. Von diesen das Quantum Quecksilber abgezogen, welches die Röhre vom geschlossenen Ende an bis zu 67.5^{mm} fasst, giebt die Menge des bei der Bewegung aus- oder eingetretenen Quecksilbers. Man findet diese Zahlen alle positiv in 12; Spalt 13 enthält die nach der Formel $C(c-c_0)$ berechneten Mengen und 14 die Grösse I. Dies giebt nach der Formel 4a die Werthe $\Delta\xi = \mp \frac{I}{13.61}$, je nachdem I positiv oder negativ ist und es ist diese Correction an dem absoluten Werthe von ξ anzubringen. Die Grössen $\Delta\xi$ sind in Spalt 15 und die entsprechenden Δb in 16 enthalten.

Die Ungleichheit des Troges konnte nicht berücksichtigt werden, da das Calibrirverfahren von vornherein als zu ungenau befunden wurde.

Die Capacität des Troges betrug auf 0.1^{mm} Höhe 6 Gramm. Der Ablesefehler war aber $= 0.1^{mm}$ und es ist also unmöglich das Quantum Quecksilber innerhalb $\pm$ 6 Gramm genau zu bestimmen. Hätte ich nun dasselbe um 6 Gramm falsch gefunden, so würde ich eine um 0.5^{mm} falsche Correction anbringen müssen.

Ich nahm zur Berechnung von $(c-c_0)$ die von der Temperatur befreiten ξ und nicht diejenigen Werthe, welche auch von den Veränderungen im Instrumente befreit sind.

Dies hat seinen Grund darin, dass die Feuchtigkeit im Local den Trog so veränderte, dass die Glastafeln am Trog zersprangen und das Ausfliessen des Quecksilbers nur dadurch verhütet war, dass hinter die Tafeln dünne Blättchen von Glimmer mittels Canadabalsam aufgekittet waren. Demnach war diesen Veränderungen nicht zu trauen.

Tafel III.

In Tafel III sind I und II die Variationen des Luftdruckes nach dem Heberbarometer und dem Normalbarometer, III die den ξ (Spalt 4 Tafel II) entsprechenden Δb, endlich IV, V, VI die Δb befreit von

Digitized by Google

Bewegung des Troges, der Ungleichheit in der Kammer und der Bewegung des Troges + der Ungleichheit in der Kammer.

Endlich sind in den Spalten (II—I), (III—I), (III—II) die Differenzen der Werthe in den entsprechenden Spalten gegeben.

Die Differenzen zwischen den Angaben des Heberbarometers und denen des Normalbarometers erreichen bedeutende Werthe und die Grösse derselben ist wohl zumeist dem Heberbarometer zuzuschreiben. Die Summe dieser Differenzen, alle positiv genommen, beträgt 8.21^{mm}, die Zahl der Beobachtungen 46. Daraus berechnet sich der wahrscheinliche Fehler, nach der Formel

$$\varepsilon = \frac{\Sigma \Delta}{\sqrt{n(n-1)}} \times 0.845$$

zu

$$\pm\ 0.152^{mm}$$

der wahrscheinliche Fehler der Differenzen III—I und III—II ist dem entsprechend

$$\pm\ 0.172^{mm}$$

und

$$\pm\ 0.148^{mm}.$$

Nimmt man die Angaben des Normalbarometers als die sichersten und betrachtet die Werthe in III—II, so wird man finden, dass die Differenzen nur positiv und zwar um so grösser sind, wenn die Variationen des Luftdruckes positiv und je grösser sie sind. Bei negativer Variation verlieren die Differenzen den gesetzmässigen Charakter vollständig. Der Grund kann in zwei Umständen zu suchen sein. Die geringste Wahrscheinlichkeit hat der, dass die Kammer vom normalen Querschnitt an nach oben weiter wird, desto mehr aber der, dass der Trog von seinem normalen Querschnitt an nach unten enger wird. Der Trog war mit Wachs ausgegossen, er wurde aufrecht gestellt, als das Wachs noch nicht ganz fest war, demnach wird die untere Schicht stärker geworden sein, als die obere. Ich sehe jetzt noch deutlich, dass in den Ecken unten mehr Wachs sitzt wie oben. Ein Fehler von 4 Gramm auf 5^{mm} Höhe würde die Erscheinung vollständig erklären.

Die Werthe von Δb in Spalt IV, V, VI Tafel III haben sehr wenig positiven Werth; die Correctionen, mittels deren dieselben erhalten wurden, sind mit Grössen berechnet, deren Zuverlässigkeit sehr

Digitized by Google

in Frage zu stellen ist. Die Bewegung des Troges konnte aus einem schon angegebenen Grunde durchaus nicht als sicher gebraucht werden. Da der Trog ersichtlich in seinen Wänden Veränderungen erlitt, indem die Glastafeln zersprangen, ist es leicht möglich, dass dadurch die Marke, durch die der Stand des Troges bestimmt wurde, ihre Lage veränderte, ohne dass das Quecksilber näher an dieser Bewegung Theil nahm.

Die Werthe von Γ Tafel II Spalt 14 gehen nicht über 4 Gramm hinaus. Diese Grösse liegt noch innerhalb der Fehlergrenzen des Calibrirverfahrens. Der Fehler beim Calibriren konnte recht gut auf $\pm 0.2^{mm}$ steigen; da Γ die Differenz aus zwei solchen fehlerhaften Bestimmungen ist, so liegt, da die Capacität der Kammer auf $0.1^{mm} = 1$ Gramm ist, 4 Gramm vollständig in der Fehlergrenze.

Man sieht dies sofort an den Δb, da die Werthe blos von der Temperatur befreit im Allgemeinen am besten stimmen. Die wahrscheinlichen Fehler zeigen, dass die Angaben des Instrumentes denen eines Heberbarometers von der besseren Art, wie die Greiner'schen sind, gleichkommen, auch wenn man keine Correction, als die der Temperatur, anbringt. Hat man die Grundlagen zu den anderen Correctionen mit der nöthigen Schärfe bestimmt, so wird das Wagebarometer jedenfalls noch bessere Resultate geben.

Leider kann ich diesen Gegenstand nicht mehr experimentell verfolgen, da mir jetzt die Hilfsmittel vollständig fehlen. Ich glaube aber dass die Sache für die Meteorologie wichtig genug ist, um näher geprüft zu werden, da ich der festen Ueberzeugung bin, dass man zu Instrumenten gelangen wird, die mit gleichem Kostenaufwand mehr leisten können, als die Heberbarometer und zugleich als Registririnstrumente eingerichtet werden können. Nur muss bei der Construction derselben auf äusserst solide Ausführung gesehen werden und das Instrument auf das Genaueste bestimmt werden.

Auf Tafel IV habe ich nun die Beobachtungen über Trägheit und Reibung am Wagebarometer zusammengestellt.

In Spalt 1 findet man die Differenzen der Beobachtung am bewegten minus der. an dem sich selbst überlassenen Instrumente. Diese Differenzen in Variation des Luftdruckes übersetzt stehen in Spalt 2, in Spalt 3 die entsprechenden Werthe des Normalinstrumentes und in Spalt 4 die des Heberbarometers.

Digitized by Google

Ich habe nirgends Bestimmungen über das Zurückbleiben eines sich selbst überlassenen Normalinstrumentes hinter der Variation des Luftdruckes finden können und muss mich daher jeder Betrachtung der Zahlen enthalten und dieselben einfach geben, wie ich sie gefunden habe. Man sieht, dass die Angaben des Wagebarometers mit denen des Normalinstrumentes ziemlich gleich sind. Nimmt man an, dass das Normalinstrument, auch ohne bewegt zu werden, dem Luftdruck folgt, so würde das Resultat sein: die Widerstände der Trägheit und Reibung auf die Bewegung der Barometerröhre des Wagebarometers sind klein und nicht viel grösser, als die bei dem Normalinstrument. Das Heberbarometer, das bei jeder Ablesung geneigt und erschüttert wurde, zeigt vollständig abweichende Resultate von denen des Normalinstrumentes.

Das Wagebarometer als Registririnstrument.

Um das Wagebarometer als Registririnstrument anzuwenden, wird man auf der Seite des Wagebalken, die das Gegengewicht trägt, einen Arm anbringen, der zwar in der Richtung senkrecht zur Ebene des Wagebalken biegsam, dagegen in dieser Ebene starr ist. Dieser Arm trägt einen Stift, auf den in bestimmten Zeitintervallen ein Hammer schlägt und so den Stift gegen das Papier drückt, welches durch irgend eine Vorrichtung an ihm vorbei gezogen wird, und auf diese Weise den Barometerstand markirt.

In Fig. 14 stellt AB den Röhrenarm des Wagebalkens dar, A den Drehpunct, B den Aufhängepunct der Röhre; AC ist der Arm, welcher in C den Stift hat. Es sei $AB = a$, $AC = r$. Der Ausschlag des Wagebalken wird nun gemessen durch den Abstand BB', den der Punct B von dem Niveau des Drehpunctes hat. Es ist $BB' = -\xi$ und der Abstand CC' von demseben Niveau $= x$, demnach findet zwischen x und ξ die Relation statt

$$1) \qquad -\xi = \frac{a}{r} x.$$

Man wird auf dem Registrirstreifen eine Linie DD ziehen, die horizontal über dem Niveau des Drehpunctes um z liegt. Diese Linie wird beim Aufspannen des Papieres gezogen, beim Ablesen der Curve

Digitized by Google

bestimmt man die Entfernungen der Registrirpuncte von dieser Linie und erhält so die Grössen

$$y_1 \; y_2 \; y_3 \text{ etc.}$$

Diese y lassen sich leicht auf x reduciren, wenn man das constante z zu denselben addirt und bekommt

$$x_1 = y_1 + z; \quad x_2 = y_2 + z; \quad x_3 = y_3 + z, \quad \ldots\ldots$$

und aus den x die Werthe von ξ nach der Formel

$$\xi = -\frac{a}{r} x.$$

Nun ist es leicht, diese ξ in Variation des Luftdruckes nach den bisher gezeigten Formeln, bis zu jeder beliebigen Genauigkeit, umzusetzen.

Zunächst muss aber die Grösse z bekannt sein.

Das Registririnstrument wird man am besten zu directen Ablesungen einrichten, man wird eine Vorrichtung anbringen, die gestattet, den Ausschlag ξ des Wagebarometers jederzeit abzulesen.

Dann beobachtet man ξ und notirt sich die Zeit. Man bestimmt den Werth y der Registrircurve zu dieser Zeit, berechnet aus dem gemessenen ξ den Werth von x nach der Formel

$$x = -\xi \frac{r}{a}$$

und bekommt

$$2) \qquad z = \left\{ -\frac{r}{a} \xi - y \right\}$$

Man wird z mehrmals bestimmen können und so das Mittel nehmen.

Ist nun das Instrument gut ausgeführt, die Kammer und der Trog in den activen Theilen gut cylindrisch, so wird man blos die Temperaturcorrection an den ξ anzubringen haben. Man wird darauf sehen, das Instrument an einem Ort aufzustellen, wo es wenigstens von täglichen Temperaturschwankungen befreit bleibt, dann hat man an einem Thermometer am Instrumente die Temperatur bei den verschiedenen directen Bestimmungen abzulesen, aus diesen das Mittel zu nehmen und die Temperaturcorrection mit constantem t an die ξ anzubringen. Die Berechnung der Δb aus Tabellen, die man beliebig weit anlegen kann, ist eine wenig Mühe machende Arbeit. Schliesslich werden die Δb zu dem Barometerstande addirt, den das Instrument

Digitized by Google

bei der Normaltemperatur und horizontalem Stande des Röhrenarmes hat. Dieser Barometerstand ist aber die auf 0° reducirte Grösse und man bekommt so die Barometerstände auf 0° reducirt.

Die Arbeit bei der Berechnung der Registrircurven wird also in folgende Abschnitte zerfallen:

1) Ablesen des Streifens, Bestimmung von y;
2) Anbringen der Grösse z (Gleichung 2), berechnen von x;
3) Reduction der x auf ξ (Gleichung 1);
4) Reduction der ξ auf die Werthe, welche der Ausschlag bei der Normaltemperatur gezeigt hätte, nach der Tabelle;
5) Berechnung der Δb aus den reducirten ξ nach der Tabelle;
6) Berechnung von $b_0 + \Delta b$.

Die ersten drei Arbeiten lassen sich zugleich durch ein einziges Instrument ausführen.

Man berechnet zunächst z und zieht in diesem Abstande eine Parallele zu DD, die dann die Horizontale im Niveau der Drehaxe darstellt, von der aus die x gemessen werden. Nun misst man die Abstände der Puncte von dieser Niveaulinie mit einem Massstab, dessen Theilstriche von einander in der Entfernung

$$\frac{r}{a} \cdot 1^{mm}$$

abstehen. Man bekommt sogleich die Werthe von ξ in Millimetern. Der Apparat selbst ist Fig. 15 dargestellt und ist ohne jede Beschreibung verständlich.

Entwurf eines Wagebarometers,

welches gleichzeitig zu directen Beobachtungen und zum Registriren des Luftdruckes eingerichtet ist.

Nach den Principien, die ich in der ganzen vorliegenden Arbeit entwickelt habe, bemühte ich mich, ein Instrument zu entwerfen, das den theoretischen Anforderungen möglichst entspricht und bei dessen Construction ich auf möglichst einfache und practische Ausführbarkeit Rücksicht nahm.

Digitized by Google

Das Instrument in $^1/_{10}$ natürlicher Grösse findet sich als Aufrisszeichnung in Fig. 16.

Die Röhre hat dieselben Capacitäten, wie mein Barometerrohr, nämlich $B = 2^{gr}$, $C = 10^{gr}$, während ich den Trog, der Forderung der Theorie gemäss, so weit machte als es ging. Der Querschnitt des Troges ist kreisförmig und sein Radius beträgt 90^{mm}. Darnach bekommt man ungefähr $E = 350^{gr}$.

Indem ich nun den mittleren Barometerstand zu 760^{mm}, den Maximalausschlag $\xi = 40^{mm}$ bei einer Maximalvariation des Luftdruckes $\Delta b = 25^{mm}$ annehme, bekomme ich, nach den in der Thorie der Construction des Wagebarometers entwickelten Formeln, wenn $k = 10^{mm}$, $l = 215^{mm}$: $\eta_0 = 1.6^{mm}$, $c - c_0 = 63.4^{mm}$, $y_0 = 88.4^{mm}$, $c' = 745^{mm}$, $z_0 = 48.4^{mm}$, $h = 1000^{mm}$.

h ist der verticale Abstand des theoretischen Bodens des Troges OO von der Drehaxe des Wagebalken. Derselbe beträgt 1^m, davon steht das offene Ende der Röhre $40^{mm} = \xi$ ab; vom Ende der Röhre bis zum Querschnitt, von wo an die Kammer cylindrisch wird und der also den tiefsten Stand der Kuppe im Rohr bezeichnet, AA, sind es $c' = 681.6^{mm}$, die Kammer muss mindestens $2(c - c_0) = 126.8^{mm}$ über diesen Querschnitt AA hinausreichen. Der Abstand AA von dem Aufhängepuncte der Röhre ist $215^{mm} = l$ angenommen. Da der Drehpunct des Wagebalkens 1087.5^{mm} von dem Fundament absteht, muss der theoretische Boden des Troges OO von diesem Fundamente 87.5^{mm} entfernt sein. Das Quecksilber steht bei horizontaler Lage des Röhrenarmes 5^{mm} hoch im weiten Theile des Troges. Der Trog ist schliesslich ein Stück länger gemacht.

Ich will nun das Stativ für den Trog etwas näher beschreiben. Die Zeichnungen desselben befinden sich im Aufriss Fig. 16, im Grundriss Fig. 17 und in der Seitenansicht (ohne Trog) Fig. 18.

Das Stativ besteht aus zwei Theilen, einem Tisch und dessen Träger. Der Träger, dessen Form aus den Zeichnungen zu erkennen ist, besteht aus Gusseisen, er ist mittels der Schrauben E' E'' fest auf dem Fundament angebracht. Das Tischchen ABC lässt sich an demselben auf- und abbewegen und durch die Schrauben F festklemmen. Man lässt es ebenfalls aus Gusseisen herstellen. Bei G hat der Tisch ein Loch, durch welches der Trog geht. Die Verstellvorrichtung ist sehr einfach; der Träger hat zwei verticale Schlitzlöcher HH und der

Digitized by Google

Tisch bei F entsprechende Löcher durch welche die Schrauben gesteckt und auf der Rückseite mit Muttern angezogen werden.

Der Trog besteht aus Gusseisen, das aber sehr fehlerfrei sein muss, am besten wohl aus Gussstahl oder sonst einem Material, das sich gut abdrehen lässt. Auf eine möglichst gute Form des Troges kommt es am meisten an.

Der Wagebalken ruht auf einer gusseisernen Säule, die von JJ an nach oben ausgespart ist, so dass der Wagebalken darin spielen kann. Die Schneide spielt auf runden stählernen Lagern, die eingesetzt werden und irgend wie befestigt sind. Der Wagebalken ist ungefähr 6^{mm} breit und hat die Gestalt und übrigen Dimensionen, wie sie aus der Zeichnung ersichtlich sind. Der Röhrenarm KL trägt auf einer Messerschneide die Röhre; MK ist der Arm, der das constante Gegengewicht X trägt, und an KN kommt das Gewicht P, das zur Variation von F bestimmt ist.

KO ist der Arm, welcher den Bleistift in O trägt und der extra an den Wagebalken angeschraubt wird. Der Röhrenarm trägt einen Kreisbogen PP auf den eine Theilung kommt, um directe Ablesungen machen zu können.

Der Theilung gegenüber ist ein Nonius angebracht, dessen Nullpunct mit der Drehaxe des Wagebalken genau in einer Höhe liegen muss. Der Nonius ist selbständig fundirt und kann vertical und horizontal verstellt werden. Q ist ein Würfel von Messing, welcher an einem oben runden, unten kantigen Stabe sitzt, der in einer entsprechenden Vertiefung der Säule RR beweglich ist.

Der Stab hat aber ein Schraubengewinde und ruht durch die Mutter S auf der Säule auf. Durch Drehen der Mutter S lässt sich der Würfel Q heben oder senken und dann durch die Klemmschraube T eine feste Stellung erzielen. Durch einen kantigen Stab V, der horizontal durch den Würfel Q geht, lässt sich der Nonius auch horizontal bewegen und dann durch die Schraube U festklemmen.

Die Registrirvorrichtung ist der am leipziger Instrumente ganz ähnlich, nur fundire ich auch den Träger Z des Schlittens X selbstständig auf der Säule WW. Der Schlitten X, welcher das Papier trägt, bewegt sich auf Schienen Y, die an den Träger Z angeschraubt sind. Die Schienen haben Schlitzlöcher und gestatten so eine kleine

Digitized by Google

Verstellung. Der Träger, der auch von der Seite, Fig. 19 gezeichnet ist, besteht aus zwei Schienen Winkeleisen, die durch Stäbe von Bandeisen kreuzförmig in fester Lage gehalten werden und ist an die Platte auf der Säule angeschraubt.

Die ganze andere Einrichtung ist so wie beim leipziger Instrumente. Der Hammer, der alle Viertelstunden auf den Stift schlägt, wird durch einen Hebel bewegt, welcher durch Stifte an der Drehaxe einer Uhr zurückgezogen und dann plötzlich losgelassen wird. Den Schlitten lasse ich aber durch ein Gewicht A_1 bewegen und dessen beschleunigende Wirkung durch die Uhr aufheben. Dadurch wirkt der Schlitten bewegend auf die Uhr und die Zahnstange am leipziger Instrumente kann durch eine Schnur ersetzt werden.

Der Arm des Wagebalken, welcher den Stift trägt, ist ungefähr dreimal länger als der Röhrenarm. Demnach muss, da der grösste Ausschlag des Stiftes $\pm$ 120^{mm} betragen kann, der Papierstreifen 240^{mm} breit sein. Da der Röhrenarm 160^{mm} lang ist, ist die Maximalhorizontalverschiebung des Stiftes 16^{mm}.

Nimmt man an, dass innerhalb einer Viertelstunde die Röhre sich nie mehr als höchstens 5^{mm} bewegt, so reicht man mit einer Bewegung des Schlittens von 2^{mm} pro $1/4^h$ aus und muss den Papierstreifen $2 \times 96 + 16 = 208^{mm}$ lang machen. Das Rad der Uhr um welches die Schnur liegt, welche die Beschleunigung der Bewegung des Schlittens hemmen soll, macht am Tag 2 Umdrehungen und so muss sein Umfang 96^{mm} oder sein Radius 15^{mm} sein.

Alle Theile des Instrumentes sind auf einer eisernen Platte angeschraubt und diese ruht auf einem gemauerten Fundamente. Dann wird es von einem Kasten umgeben, der Gefässe mit concentrirter Schwefelsäure enthält, um die Luft trocken zu halten und die Eisentheile vor dem Rost zu schützen. Man öffnet diesen Kasten nur beim Einziehen des Papierstreifens und beim Aufziehen der Uhr. Die directen Ablesungen geschehen durch ein Fenster. Man bringt ferner von Aussen eine Vorrichtung an, mit der man den Wagebalken vor der Ablesung etwas bewegen kann.

Die Hilfsinstrumente.

Um nun das Instrument wirklich gebrauchen zu können, sind noch zwei Hilfsinstrumente nöthig, die zur Bestimmung der Constanten

Digitized by Google

und zu den Controlbeobachtungen dienen. Dieselben sind: ein Sphärometer und ein Kathetometer.

Das Sphärometer (Fig. 20) ist eine feine Schraube mit getheiltem Kopf und Vorrichtung zum Verticalstellen. Hat man die Steighöhe derselben bestimmt, so kann man durch die Zahl der Umdrehungen dieser Schraube kleine Niveaudistanzen bestimmen. Das Sphärometer wird zunächst zum Calibriren des Troges gebraucht, das mit der grössten Sorgfalt ausgeführt werden muss. Man stellt dazu die feine Spitze, in der die Schraube endigt, auf den Quecksilberspiegel, womöglich mit der Lupe, ein.

Bei dem aufgestellten Instrumente wird man das Sphärometer als Niveaustab benützen, indem man mit dem Kathetometer die obere Quecksilberkuppe und den Sphärometerkopf visirt und die Länge der Sphärometerschraube zu diesem Nivellement addirt, um den Barometerstand in Quecksilbersäule zu erhalten.

Das Kathetometer (Fig. 21) habe ich so gezeichnet, als es, wie ich glaube, am einfachsten ausgeführt werden kann. Das Fernrohr wird auf kurze Distanzen eingerichtet und trägt ein Niveau. Mit diesem wird die verticale Drehaxe wirklich vertical gestellt, bei jeder Visur das Niveau abgelesen und die Noniusangaben auf parallelen Stand des Fernrohres reducirt. Ist dann der Massstab der Drehaxe möglichst parallel, diese vertical und die Distanzen so, dass man bei den verschiedenen Visuren die Ocularröhre nicht zu verstellen braucht und so eine Aenderung des Collimationsfehlers zu befürchten hat, so kann man Nivellirungen in verschiedenen Azimuthen, ohne jede andere Correction, als die durch verschiedene Neigung des Fernrohres bedingte, als vollständig genau genug annehmen.

Das Kathetometer dient zur Calibrirung der Röhre, zur Bestimmung der ganzen übrigen Constanten, zur Justirung und Controle des Instrumentes.

Der Beobachter, der die Controlen der verschiedenen Instrumente auszuführen hat, braucht nichts mitzunehmen, als das Sphärometer und Kathetometer und erspart so das beschwerliche und bei schlechten Communicationsmitteln sogar gefährliche Transportiren der Normalinstrumente.

Man braucht bei der erwähnten Einrichtung des Instrumentes keine Heberbarometer, erspart also diese Kosten und wird so einen

Digitized by Google

Theil der Kosten des Registririnstrumentes decken. Die Mehrkosten desselben werden aber durch das reiche Beobachtungsmaterial vollständig aufgehoben.

Der Beobachter am Ort ist endlich nicht an die Zeit gebunden und seine directen Beobachtungen werden durch das Registririnstrument controlirt.

Digitized by Google

Beobachtungen über Trägheits- und Reibungswiderstände bei der Bewegung des Wagebarometers.

Nummer der Beobachtung	Ungefährer Ausschlag	Differenz der ξ bei ruhendem und bewegtem Wagebarometer	Δb die diesen $\Delta \xi$ entsprechen	Dieselben Differenzen des Normalbarometers	Bewegung des Luftdruckes am Heberbarometer bestimmt
1	— 7.3	— 0.40	+ 0.23	+ 0.24	+ 0.04
2	— 6.1	+ 0.02	— 0.01	+ 0.08	— 0.01
4	— 4.2	— 0.10	+ 0.06	+ 0.21	0.00
5	— 2.9	+ 0.08	— 0.05	— 0.02	0.00
6	+ 2.1	+ 0.02	— 0.01	+ 0.26	+ 0.09
7	+ 4.0	— 0.07	+ 0.04	— 0.06	— 0.20
8	+ 4.3	+ 0.21	— 0.13	— 0.19	— 0.23
10	+ 11.8	— 0.33	+ 0.19	+ 0.13	— 0.02
11	+ 10.8	— 0.68	+ 0.40	+ 0.38	+ 0.11
13	— 2.1	— 0.76	+ 0.45	+ 0.19	+ 0.07
14	— 4.4	— 0.92	+ 0.53	+ 0.47	+ 0.21
15	— 6.4	— 0.23	+ 0.14	+ 0.19	+ 0.04
16	— 8.8	— 0.54	+ 0.31	+ 0.03	— 0.07
17	— 7.6	+ 0.10	— 0.06	+ 0.17	— 0.02
18	— 15.2	— 0.53	+ 0.31	+ 0.09	+ 0.08
19	— 14.5	+ 0.83	— 0.48	+ 0.09	— 0.04
20	— 15.4	— 0.69	+ 0.40	+ 0.48	+ 0.02
21	— 9.8	— 0.10	+ 0.06	+ 0.10	— 0.06
22	— 6.3	+ 0.19	— 0.11	+ 0.12	— 0.09
23	— 5.3	— 0.08	+ 0.05	+ 0.08	— 0.06
24	— 1.0	+ 0.02	— 0.01	— 0.07	— 0.10
25	— 4.6	— 1.10	+ 0.63	+ 0.42	+ 0.35
26	— 11.7	— 0.40	+ 0.23	+ 0.43	+ 0.03
27	— 3.0	+ 0.71	— 0.42	— 0.19	— 0.24
28	0	— 0.35	+ 0.20	+ 0.43	+ 0.08
29	+ 7.2	+ 0.01	— 0.01	— 0.06	— 0.11
30	— 14.9	— 0.71	+ 0.42	+ 0.40	+ 0.22
32	— 20.1	— 0.29	+ 0.17	— 0.01	+ 0.01
33	— 16.3	+ 0.06	— 0.04	+ 0.05	— 0.01
34	— 7.2	+ 0.02	— 0.01	+ 0.23	— 0.05
35	+ 0.9	— 0.02	+ 0.01	+ 0.07	+ 0.01
36	+ 3.8	+ 0.10	— 0.06	— 0.01	+ 0.07
37	— 2.2	— 0.23	+ 0.14	+ 0.10	+ 0.09
38	— 13.7	— 0.21	+ 0.13	— 0.19	— 0.05
39	— 6.4	+ 0.40	— 0.23	— 0.05	— 0.18
40	+ 8.6	+ 0.64	— 0.37	— 0.37	— 0.17
42	+ 8.2	— 0.54	+ 0.31	+ 0.15	+ 0.06
43	— 3.3	— 0.28	+ 0.17	+ 0.15	+ 0.05
44	— 5.2	+ 0.03	— 0.02	+ 0.09	0.00
45	— 4.8	+ 0.46	— 0.27	— 0.22	— 0.20
46	+ 19.8	+ 0.25	— 0.15	— 0.09	— 0.15
47	+ 14.5	— 0.13	+ 0.08	+ 0.09	— 0.02
49	+ 29.4	+ 0.17	— 0.10	+ 0.02	+ 0.03

Digitized by Google

Temperaturcorrectionstabelle.

Temperatur = Ausschlag	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	= Temperatur Ausschlag
↓								↓
— 30mm	0.00	0.46	0.91	1.36	1.80	2.24	2.69	— 30mm
— 20mm	0.00	0.49	0.99	1.48	1.97	2.45	2.93	— 20mm
— 10mm	0.00	0.53	1.04	1.56	2.08	2.59	3.10	— 10mm
0mm	0.00	0.55	1.11	1.67	2.22	2.77	3.33	0mm
+ 10mm	0.00	0.53	1.05	1.58	2 10	2.62	3.14	+ 10mm
+ 20mm	0.00	0.51	1.01	1.51	2.00	2.50	3.00	+ 20mm
+ 30mm	0.00	0.47	0.93	1.49	1.86	2.32	2.78	+ 30mm
↑								↑
Ausschlag = Temperatur	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	Ausschlag = Temperatur

Die Correctionen sind positiv; Argumente: vertical der Ausschlag, horizontal Temperatur.

Tabelle,

welche die Capacität der Röhre, vom geschlossenen Ende an bis zu dem als Argument dienenden Stand, an der Röhrentheilung abgelesen, bei + 7° C. angiebt.

Ablesung am Rohr	Capacität		Ablesung am Rohr	Capacität		Ablesung am Rohr	Capacität
mm	gr		mm	gr		mm	gr
2.0	102.0		41.5	509.6		82.3	917.3
5.9	153.0		46.8	560.5		87.8	968.3
11.0	203.8		52.0	611.5		93.0	1019.3
16.0	254.8		57.0	662.5		98.0	1070.2
21.0	305.8		62.0	713.5		103.2	1121.2
26.0	356.7		67.0	764.5		108.2	1172.1
31.2	407.7		72.0	815.4		113.5	1123.1
36.4	458.7		77.1	866.4			

Tabelle

zur Verwandlung der Bewegungen des Barometerrohres in Variation des Luftdruckes.

ξ	Δb		ξ	Δb		ξ	Δb
+ 1mm	+ 0.57		+ 11mm	+ 6.36		+ 21mm	+ 12.38
2	1.15		12	6.95		22	13.00
3	1.72		13	7.54		23	13.63
4	2.30		14	8.13		24	14.26
5	2.87		15	8.72		25	14.90
6	3.45		16	9.33		26	15.54
7	4.02		17	9.93		27	16.18
8	4.60		18	10.54		28	16.84
9	5.18		19	11.15		29	17.50
10	5 78		20	11.77		30	18.16
ξ	Δb		ξ	Δb		ξ	Δb

Digitized by Google

Beetz's Federcontact.

(Hiezu Tafel XVIII u. XIX.)

Vor einiger Zeit hat Herr Professor Dr. Beetz ein Verfahren angegeben, durch welches sich Batteriewiderstände mit grosser Genauigkeit und Bequemlichkeit messen lassen und dasselbe in den Münchener Akademieberichten,[1]) sowie in Poggendorff's Annalen[2]) beschrieben; auch ist dasselbe in Kohlrausch's Leitfaden[3]) für das physikalische Practicum und in Wiedemann's Lehrbuch des Galvanismus[4]) zu finden.

Von den zu diesen Messungen zu verwendenden Apparaten sind alle seit früher bekannt, mit Ausnahme des Federcontactes, dessen Anfertigung nach den von Beetz angegebenen Grundzügen meiner Werkstätte überlassen wurde. Eine Erläuterung der Einrichtung desselben ist der Inhalt der folgenden Zeilen.

Wie man sich aus dem Beetz'schen Aufsatze erinnert, findet am einen Ende des Compensatordrathes, der durch Siemens'sche Widerstandssäulen verlängert wird, eine Verzweigung der Leitung statt. Die eine Leitung führt zum compensirenden Element, die andere zum Galvanometer und der zu messenden Kette. Für gewöhnlich sind beide Leitungen unterbrochen; sie werden aber im Augenblicke des Experimentes eine kurze Zeit hindurch geschlossen und zwar muss während zusammenhängender Versuchsreihen die Zeitdauer aller Stromschlüsse die gleiche sein. Diese Arbeit besorgt der Federschlüssel, jedoch so, dass die Leitung für die compensirende Kette etwas früher geschlossen und auch später geöffnet wird, als die Leitung, welche das Galvanometer enthält.

Die gleiche Dauer der Stromschlüsse wird dadurch erreicht, dass man einer gespannten Stahllamelle die Stütze, welche sie in dieser

---

1) Sitzungsberichte der Münchener Akad. d. W. Math. ph. Classe. 1871. p. 1.
2) Pogg. Ann. Bd. 142. pag. 573.
3) Zweite Aufl. pag. 167.
4) Neueste Aufl. I. 274.

Digitized by Google

Lage erhällt, entzieht und die nun oscillirende Feder vor vollständig erreichter Elongation ihrer ersten Schwingung auf zwei Contacte, welche die Stromleitung vermitteln, aufschlagen lässt. Wenn dies geschehen ist, wird sie an ihrer Fortbewegung verhindert, damit sie nicht bei den Oscillationen, welche nun folgen würden, neue Stromschlüsse herstellen kann. Dies sind die constructiven Grundzüge des Federcontactes, wie er in natürlicher Grösse als Fig. I in perspectivischer Ansicht, als Fig. II im Durchschnitt gezeichnet ist.

Aus diesen Zeichnungen ist ersichtlich, dass C_1 C_2 die vorhinerwähnten mit Platinenden versehenen Contacte sind. Sie stehen durch das Fussbrett des Apparates hindurch in leitender Verbindung mit den beiden Klemmschrauben K_1 und K_2. In K_1 und K_2 werden also die Drathleitungen zum compensirten und zum compensirenden Elemente eingesetzt. Die beide Contacte herstellende Feder ist die Stahllamelle F, welche einige Schrauben und ein Zwischenlegestück mit dem Fuss des Apparates so verbinden, dass ihre Ruhelage beliebig corrigirt werden kann. Ebenso sind die beiden Contacte C_1 C_2 als Schrauben mit Versicherungsmuttern dem Querstück Q, das von der Feder F getragen wird und eigentlich die Contacte schliesst, beliebig zu nähern. C_1 und C_2 werden in ungleicher Höhe festgestellt, damit das Voreilen des Contactes für das compensirende Element stattfinde. Nun ist auch klar, dass die mit der Feder stets in Verbindung stehende Klemmschraube K_3 jene ist, in welche der Leitungsdrath zum Compensator befestigt wird. — Die vor Eintritt des Contactes die Feder F in Spannung haltende Stütze ist die Klinke A, welche zum Zwecke der Auslösung mit dem Fingergriffe B in Verbindung ist. Wird die Feder F aus ihrer Ruhelage in die Höhe gezogen, so klinkt sie in A, durch die Feder x nach vorwärts getrieben, ein und wird durch die Nase a festgehalten. Wird dann die Klinke A durch Zurückziehen des Griffes B von der Feder F ausgerückt, so schnellt die Feder herab, schlägt das Querstück Q auf die Contacte C_1 C_2, berührt aber auch die Schraube s und wirft dadurch die Feder B zurück. Diese Feder B hielt indessen durch den Haken b eine zweite Klinke D zurück, welche jetzt ausgelöst ist, durch die Feder x getrieben wird und durch ihre Nase k die Feder F an ihrer Weiterbewegung hindert. Wird hierauf die Feder F wieder in die Höhe gezogen, so klinkt sie bei a ein, drängt jedoch dadurch, dass ihre Kante f an der schiefen Ebene e der Klinke D gleitet, ebendiese

Digitized by Google

Klinke D soweit zurück, dass sie sich in b wieder fängt, und nun ist der Federschlüssel zur Anstellung eines weiteren Versuches wieder im Stande. Das Gewicht G dient dazu, die Oscillationsdauer der Feder F und dadurch die Zeitdauer der Contacte zu verändern.

Endlich wird zugleich mit dem Zurückziehen der Klinke A ein Contact bei C_3 aufgehoben, welcher ermöglicht, dass bis zum Moment der Compensation die compensirte Kette geschlossen werden könne.

München den 5. October 1872.

M. Th. Edelmann.

Digitized by Google

Das Schwefelsäure-Hygrometer.

Nach A. de la Rive und E. O. Wildman Withehouse in dem Quarterl Journal of the Meteorological Society.

Aus der Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie.

Die Schwierigkeiten, welchen man beim Gebrauche des Psychrometers in dem Falle begegnet, wo die Temperatur der Luft bei oder unter dem Nullpuncte sich befindet, sind bekannt. Sie haben auf den Gedanken geführt, dem Psychrometer — wenigstens für diese Fälle — ein anderes Instrument zu substituiren, welches leichter zu behandeln wäre und sicherere Angaben liefern würde. Darum hat man in neuerer Zeit wieder den Gebrauch des Saussure'schen Haar-Hygrometers empfohlen.

Vor etwa 25 Jahren hat de la Rive einen sehr beachtenswerthen, aber in der Zwischenzeit wieder der Vergessenheit anheimgefallenen Vorschlag gemacht, die Menge der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe durch die Temperaturerhöhung zu bestimmen, welche die Absorption der Wasserdämpfe durch concentrirte Schwefelsäure bewirkt.

Wir lassen die Beschreibung des Verfahrens folgen, wie sie de la Rive ursprünglich in der Bibliothèque universelle de Gènéve (Bd. XXVIII, p. 285 [1]) gegeben hat:

„Ich tauche das Gefäss eines empfindlichen Thermometers in concentrirte Schwefelsäure und ziehe es dann plötzlich heraus, indem ich dem Instrumente eine kleine Erschütterung beibringe, so dass nur ein dünner Ueberzug auf der Oberfläche des Thermometergefässes zurückbleibt. Das Thermometer steigt unmittelbar darauf um mehrere Grade und beginnt, nachdem es eine Zeit lang stationär geblieben ist, zu fallen. Ich bestimme zunächst die Anzahl der Grade, um welche das

1) Von dort ist dieselbe in die Annales de Chimie et de Physique (Vol. XXX. p. 87) und das Philosophical Magazine (IV. Reihe, Vol. XLIII. p. 514) übergegangenen und letzthin im Quarterly Journal of the Meteorological Society (Vol. I p. 64) wieder abgedruckt worden.

Digitized by Google

Thermometer steigt, wenn die Luft — unter übrigens gleichen Verhältnissen — mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Der Unterschied zwischen beiden Resultaten gibt das genaue Verhältniss zwischen der Spannung des Wasserdampfes, der zur Zeit meiner Beobachtung in der Atmosphäre enthalten war und jener Spannung, bei welcher sich die Atmosphäre im Zustande vollständiger Sättigung befindet. Um ein Beispiel anzuführen, so zeigte das Thermometer in dem Momente, bevor sein Gefäss in die Schwefelsäure getaucht wurde, 12° Réaumur. Als man dasselbe herauszog und der Luft aussetze, stieg dasselbe bis zu 25 · 5°, d. i. um 13 · 5 Grade. Wenn man das Thermometer in einem Recipienten mit vollständig gesättigter Luft von derselben Temperatur 12° R. brachte, so stieg es bis zu 27° oder um 15 Grade.

„Das Verhältniss von 13 · 5 zu 15 drückt das Verhältniss aus zwischen der Spannung des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes und der Spannung desselben, wenn die Luft bei einer Temperatur von 12° mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Nun ist das Verhältniss von 13 . 5 zu 15 identisch mit jenem von 90 : 100. Wenn man aber in Gay-Lussac's Tafel, welche in Biot's Traité de Physique experimentale et mathématique enthalten ist, nachsieht, so findet man, dass der Spannung[1]) 90 der Stand 95 . 43 am Saussure'schen Hygrometer entspricht. Während des eben beschriebenen Versuches zeigte das erwähnte Hygrometer 95 · 50."

„Für jede von 12° R. verschiedene Temperatur und für denselben Feuchtigkeitsgrad nach Saussure's Hygrometer wird das Steigen des Thermometers der Temperatur der Atmosphäre proportional[2]) sein, indem die Menge Wasserdampf, welche die Luft zu enthalten vermag, vorzüglich von ihrer Temperatur abhängt. Es schiene daher nothwendig, die Temperatur-Aenderung, welche in einer vollständig mit Wasserdampf gesättigten Luft hervorgerufen wird, für jeden Grad des Thermometers zu bestimmen. Eine Reihe von Versuchen hat mir aber die Ueberzeugung verschafft, dass es für practische Zwecke genügt, das Steigen des Thermometers blos für zwei extreme Puncte, z. B. 0° und 20° R., zu bestimmen, das in beiden Fällen erhaltene Resultat ist auf die zwischenliegenden Grade gleichmässig zu vertheilen. Es schien mir ferner, dass die Temperatur-Aenderungen, welche das

1) Richtiger wohl: relativen Feuchtigkeit.
2) Richtiger wohl: abhängig von der Temperatur.

Digitized by Google

Thermometer beim Herausziehen aus der Schwefelsäure anzeigte, den Spannungen der Wasserdämpfe bei den betreffenden Temperaturen proportional wären."

„Beim ersten Anblicke könnte es scheinen, dass — so gering auch die Menge Wasserdampf in der Atmosphäre sein mag — immer eine genügende Menge Feuchtigkeit vorhanden sein werde, um die dünne Schichte Schwefelsäure auf der Oberfläche des Thermometer-Gefässes zu sättigen und dass daher in jedem Falle eine gleiche Menge Wärme entwickelt werden dürfte. Meine Antwort auf diese Einwendung ist, dass zwischen der Tendenz der Schwefelsäure, die Feuchtigkeit zu absorbiren und der Tendenz des Wasserdampfes, in gasförmigem Zustande zu verbleiben, eine Art Gegensatz zu bestehen scheint, welcher Gegensatz mit der Trockenheit der Atmosphäre zunimmt. Es folgt daraus, dass je mehr Feuchtigkeit in der Luft enthalten ist, desto schneller wird dieselbe von der Säure condensirt werden und desto grösser wird die entwickelte Wärme sein. Das Thermometer wird in beiden Fällen zu steigen fortfahren, bis der kühlende Einfluss der umgebenden Luft hinreicht, die von der Condensation des Wasserdampfes herrührende Wärme zu neutralisiren, und der Zeitpunct, wann dies geschieht, muss von der grösseren oder geringeren Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes abhängen."

Auf demselben Principe, wie das vor längerer Zeit von de la Rive vorgeschlagene Verfahren, beruht auch das in neuester Zeit von E. O. Wildman Whitehouse erdachte neue Hygrometer. Der Unterschied zwischen diesem und dem Verfahren de la Rive's besteht blos darin, dass der Hygrometer von Whitehouse keines besonderen Versuches bedarf, sondern dessen Angaben, sowie jene des Psychrometers, stetig sind. Während aber beim Psychrometer auf die Menge der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe aus der Temperatur-Erniedrigung geschlossen wird, welche durch die Verdampfung einer Wasserschichte erzeugt wird, verhält es sich bei dem „Schwefelsäure-Hygrometer" Whitehouse's gerade umgekehrt: man schliesst auf das in der Luft vorhandene Quantum Wasserdampf aus der Temperatur-Erhöhung, welche durch die Condensation und Absorption des Wasserdampfes erzeugt wird. Während das Psychrometer den Beobachter im Winter oft in Verlegenheit bringt und unsichere Angaben liefert, unterliegt die Anwendung des „Schwefelsäure-Hygrometers" auch bei strenger Kälte keiner Schwierigkeit.

Digitized by Google

Das Instrument, wie dasselbe von Whitehouse zusammengestellt worden ist, besteht aus 3 Thermometern von ähnlicher Construction, welche neben einander auf einem passenden Gestelle angebracht sind und als „feuchtes, trockenes und Schwefelsäure-Hygrometer" benützt werden.

Das „feuchte und das trockene" Thermometer bedürfen keiner weiteren Erklärung. Das Gefäss des „Schwefelsäure-Hygrometers" steht in Verbindung mit einem Reservoir von der Form einer mit zwei Hälsen versehenen (Wulf'schen) Flasche, durch welche der capillare Heber hindurchgeht, der auf diese Art die Säure immer aus demselben Niveau, nämlich dem offenen Ende der Röhre, zuleitet. Es mag nun das Reservoir gefüllt oder nahezu leer sein, so wird die nutzbare Oberfläche der Flüssigkeit immer jene des offenen Röhrenendes sein. Die Einrichtung ist so getroffen, dass das Niveau dieser Flüssigkeit gerade ein wenig über jener Stelle des Thermometers liegt, auf welche die Säure hingeführt werden soll.

Die capillare Heberröhre, von deren Schenkeln der eine etwas länger sein soll als der andere, führt die Säure langsam und stetig dem Thermometer-Gefässe zu. Der zweite Hals, mit dem die Flasche ausgestattet ist, gestattet die Erneuerung der Säure ohne die Wirkung des Hebers zu stören und die Erfahrungen, welche man beim Gebrauche dieses Instrumentes gewonnen hat, zeigen, dass das Zuführen der Säure durch irgend eine beliebige Zeit stetig gemacht werden kann und dass ungeachtet der vorkommenden leichten Aenderungen im Zuflusse, dieser hinreichend gleichförmig ist. Die Länge des Hebers, sein Querschnitt und der Niveau-Unterschied zwischen der Oberfläche der Flüssigkeit und dem Puncte, wo dieselbe an das Thermometer-Gefäss abgegeben wird, bestimmen die Geschwindigkeit der Bewegung der Säure. Es ist einleuchtend, dass ein zu rascher und stetiger Zufluss von Säure von der Temperatur der umgebenden Luft gerade so, wie eine zu geringe zugeführte Quantität der Säure, zu tiefe Lesungen geben wird; indessen hat es sich ergeben, dass man in der Praxis die Zufuhr der Säure innerhalb ziemlich weiter Grenzen verändern kann, ohne wesentliche Aenderung in der Empfindlichkeit des Instrumentes hervorzurufen. Für ein cylindrisches Thermometergefäss, welches ungefähr einen Quadratzoll Oberfläche hat, ist ein Tropfen in der Minute hinreichend, obgleich das Zeitintervall zwischen je zwei Tropfen, welche nach vollbrachter Wirkung vom Thermometer-Gefässe herabtropfen,

Digitized by Google

zwischen 20 und 80—90 Secunden variiren kann, ohne dass man eine Aenderung in der Empfindlichkeit des Instrumentes bemerkt. Die Menge der verbrauchten Säure ist sehr gering, indem ihr Gewicht 4 Unzen in 24 Stunden nicht erreicht; ebenso sind die Kosten unbedeutend und betragen nicht mehr als etwa 1 Kreuzer ö. W.[1]) für den Tag. Concentrirte von Blei völlig freie Säure von der gleichen Dichte von 1 · 850 ist in entsprechenden steinernen Krügen von mässiger Grösse in England um den Preis von etwa 5 Kreuzern ö. W.[2]) das Pfund zu haben.

Die Temperatur der Säure im Reservoir ist nothwendiger Weise jene der umgebenden Luft. Die Erhöhung der Temperatur, welche das Schwefelsäure-Thermometer anzeigt, rührt von der Quantität des Wasserdampfes her, welcher durch die auf dem Thermometergefässe (von 1 □ Zoll Fläche) ausgebreitete Säure absorbirt wird, welche Säure continuirlich in concentrirtem Zustande zugeführt wird und ebenso stetig mit Wasser gemengt wieder abtropft.

Wie bereits früher erwähnt, dürfte ein nach diesem Principe construirtes Hygrometer auch bei intensiver Kälte den Dienst nicht versagen; denn die concentrirte Schwefelsäure kann weder in dem Reservoir noch im Heber frieren und sobald sie irgend eine Menge Wasserdampf aus der Atmosphäre absorbirt, erfährt sie unmittelbar eine Erhöhung der Temperatur. Es ist daher mehr als wahrscheinlich, dass, wenn die Säure, die ihre Function bereits ausgeübt hat, von dem Thermometergefässe bei intensiver Kälte abtropft, dieselbe noch immer sich in einem zu concentrirten Zustande befinden wird, um zu frieren.

---

1) Im Original 1 Farthing = $^1/_{960}$ Pfund Sterling = 1 · 05 Kreuzer ö. W.
2) Im Original 1 Penny = $^1/_{240}$ Pfund Sterling = 4 · 22 Kreuzer ö. W.

Digitized by Google

Tafel I.

Die Beobachtungen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N.	Temperaturen	Barometerstände		Ausschläge	Stände		Längen	Abstände von	
57	18.8		31.20	+ 1.66	69.2			56	51
58	15.2		29.47	+ 5.74	75.0			63	51
59	12.2		34.22	— 2.50	63.8			61	51
60	25.2		40.11	— 15.48	45.4			54	50
61	21.1		39.97	— 14.14	47.8			54	50
62	16.4		39.95	— 13.31	48.5			54	50
63	24.0		43.58	— 13.58	62.0			68	53
64	19.1		32.88	— 1.22	65.2			68	53
65	13.3		26.42	+ 11.62	83.0			71	53
66	22.0		28.86	+ 4.98	73.5			68	51
67	22.8		29.32	+ 4.19	72.5			68	51
68	18.3		30.13	+ 3.45	71.4			68	51
69	27.2		34.76	— 6.46	58.0			74	51
70	21.7		35.14	— 5.86	59.0			74	51
71	19.3		35.66	— 6.41	58.1			74	51
72	23.7		25.01	+ 12.16	83.6			66	49
73	27.4		24.88	+ 10.98	82.0			66	49
74	13.8		19.26	+ 23.39	99.6			76	47
75	14.3		20.16	+ 21.31	96.2			70	
76	8.4		19.42	+ 23.72	100.0			63	
Normal	7.0	733.76	733.34	0.00	67.5	22.4	61.0	900.50	208.41

(Nach pag. 70.)

Digitized by Google

Digitized by Google

Tafel II.

Correction der Beobachtungen.

1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nummer	Tempera-	Abgele-	Ausschlag	Gesammte	Correctionen	Correc-			*Hg* vom					
57	18.8	+ 1.66	+ 3.81	+ 4	+ 5	3	5.2	72.7	822.4	52.8	51.7	1.1	9	5
58	15.2	+ 5.74	+ 7.20	— 3	— 4	+ 2	9.9	77.4	869.4	99.8	98 5	1.3	10	6
59	12.2	— 2.50	— 1.56	— 1	— 2	+ 1	+ 2.2	65.3	747.1	22.5	21.9	0.6	4	2
60	25.2	— 15.48	— 12.45	+ 5	+ 6	— 4	17.2	50.3	594.9	174.7	171.0	3.7	28	17
61	21.1	— 14.14	— 11.75	+ 5	+ 6	4	16.3	51.2	603.7	165.9	162.1	3 8	28	17
62	16.4	— 13.31	— 11.71	+ 5	+ 6	4	16.2	51 3	604.7	164.9	161.1	3.8	28	17
63	24.0	— 3.58	— 0.53	— 6	— 7	+ 4	0.7	66.8	762.5	7.1	7.0	0.1	1	0
64	19.1	— 1.22	+ 0.99	— 6	— 7	4	— 1.4	68.9	783.7	14.1	13.9	0.2	1	0
65	13.3	+ 11.62	+ 12.71	— 9	— 11	7	17.5	85,0	942.8	173.2	174.0	— 0.8	— 6	— 3
66	22.0	+ 4.98	+ 7.69	— 8	— 10	6	10,6	78,1	876.2	106.6	105.4	+ 1.2	+ 9	+ 5
67	22.8	+ 4.19	+ 7.04	— 8	— 10	6	9.6	77.1	866.4	96.8	95.5	1.3	10	6
68	18.3	+ 3.45	+ 5.49	— 8	— 10	6	9.6	75.1	846.4	76.8	75.6	1.2	9	5
69	27.2	— 6.46	— 2.88	— 14	— 16	10	+ 4.0	63.5	728.7	40.9	39.8	1.1	9	5
70	21.7	— 5.86	— 3.25	— 14	— 16	10	4.4	63.1	726.7	42.9	43.8	— 0.9	— 7	— 4
71	19.3	— 6.41	— 4.22	— 14	— 16	10	5.8	61.7	710 5	59.1	57.7	+ 1.4	+ 10	+ 6
72	23.7	+ 12.16	+ 15.05	— 8	— 10	6	— 20.8	88.3	973 3	203.7	206.9	— 3.2	— 24	— 14
73	27.4	+ 10.98	+ 14.54	— 8	— 10	6	20.0	87.5	965.3	195.7	198.9	— 3.2	24	14
74	13.8	+ 23.39	+ 24.51	— 20	— 24	14	33.8	101.3	1102.6	333.0	336.2	— 3.2	24	14
75	14.3	+ 21.31	+ 22.53				31.0	98.5	1075.2	305.6	308.3	— 2.7	20	12
76	8.4	+ 23.72	+ 23.96				33.1	100.6	1095.8	326.2	329.2	— 3.0	22	13

Digitized by Google

Digitized by Google

Tafel III.

Resultate.

Nummer der Beob-	Temperatur des	I	II	III	IV	V	VI	II—I	III—I	III—II
		Verschiedene Werthe von Δb								
		nach	nach		nach dem Wagebarometer					
58	15.2	— 3.87		4.14	4.12	4.08	4.06		— 27	
59	12.2	+ 0.88		0.90	0.91	0.89	0.90		+ 2	
60	25.2	+ 6.77		7.22	7.18	7.05	7.00		+ 45	
61	21.1	+ 6 68		6.81	6.77	6.64	6.60		+ 18	
62	16.4	+ 6.61		6.79	6.75	6.62	6.58		+ 18	
63	24.0	+ 0.24		0.31	0.35	0.31	0.35		+ 7	
64	13.1	— 0.46		0.57	0.53	0.57	0.53		— 11	
65	13.3	— 6.92		7.38	7.31	7.41	7.34		— 46	
66	22.0	— 4.48		4.42	4.36	4.37	4.31		+ 6	
67	22.8	— 4.02		4.04	3.98	4.00	3.96		— 2	
68	18.3	— 3.21		3.15	3.09	3.10	3.04		+ 6	
69	27.2	+ 1.42		1.66	1.76	1.61	1.71		+ 24	
70	21.7	+ 1.80		1.87	1.97	1.91	2.01		+ 7	
71	19.3	+ 2.32		2.43	2.53	2.37	2.47		+ 11	
72	23.7	— 8.33		8.75	8.69	8.89	8.83		— 42	
73	27.4	— 8.46		8.45	8.39	8.59	8.65		+ 1	
74	13.8	—14.08		14.59	14.45	14.73	14.59		— 51	
75	14.3	—13.18		13.34		13.46			— 16	
76	8.4	—13.92		14.25		14.36			— 33	

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Das Chronoscop für electrische Funken.

Von

Lucas und Cazin.

(D'Almeida. Journal de Physique. 1872. Nr. 8.)

Eine schwarze Scheibe von 15 Centimeter im Durchmesser trägt an ihrem Rande 180 durchsichtige, möglichst feine und äquidistante Theilstriche, 1′, 2′, 3′ ... Eine zweite schwarze Scheibe vom gleichen Durchmesser trägt an ihrem Rande 6 durchsichtige äquidistante Theilstriche, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Das Intervall zweier auf einander folgender Theilstriche der ersteren Scheibe ist um ein Sechstel seines Werthes grösser als das Intervall zweier Theilstriche an der zweiten Scheibe, so dass diese einen Vernier bildet, der ein Sechstel eines Theilstriches der ersten Scheibe abzulesen gestattet. Beide Scheiben sind sehr nahe neben einander aufgestellt und zwar senkrecht gegen eine durch ihre Mittelpuncte gehende Gerade. Die erste Scheibe erhält eine gleichförmige Rotationsbewegung, die zweite Scheibe bleibt fix.

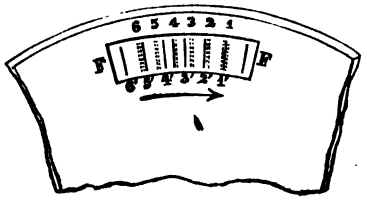


Fig. 8

Der electrische Funken entsteht im Brennpuncte einer Linse, welche auf die sechs Vernierstriche Strahlen sendet, die zur Axe der Scheiben parallel sind. Die Richtung dieser Strahlen trifft auf der anderen Seite der Scheiben auf das Objectiv eines Ablesemicroscopes, in dessen Feld sich die sechs Striche finden. Der Beobachter untersucht in diesem Microscope die Lichterscheinungen, welche der Funken erzeugt; der Versuch wird im Dunklen angestellt.

Hat der Funken eine unmessbar kurze Dauer, so können zwei Fälle eintreten: der Beobachter bemerkt entweder einen einzigen hellen Strich, oder er sieht gar keinen.

Digitized by Google

Um diese Thatsache zu erklären, nehmen wir an, dass die bewegliche Scheibe 400 Umläufe in der Secunde mache. In einer Secunde gehen also $400 \times 180 = 72000$ Striche nach einander vor dem Auge des Beobachters vorbei. Es verfliesst also $\frac{1}{72000}$ Secunde zwischen den Durchgängen zweier auf einander folgender Striche.

Soll das Licht des Funkens durch einen der Striche 1′, 2′, 3′ ... die im Gesichtsfelde des Fernrohres stehen, hindurchgehen, so muss dieser Strich mit einem der 6 Striche 1, 2, 3 ... des Verniers in Coincidenz sein. Dann sieht der Beobachter diesen Strich im Fernrohre aufleuchten. Die Figur zeigt die Striche 1 und 1′ in Coincidenz.

Ist die rotirende Scheibe um ein Sechstel eines Theilstriches vorgerückt, so tritt ein zweiter Strich dieser Scheibe in Coincidenz mit einem zweiten Striche des Verniers; es sind dies die Striche 2 und 2′ in der Figur, wobei die Scheibe in der Richtung des Pfeiles sich dreht. Allein diese Coincidenz hat nicht immer statt an dem Striche des Verniers, welcher demjenigen zunächst liegt, wo die erste Coincidenz stattfand. Dreht sich die Scheibe in der dem Pfeile entgegengesetzten Richtung und hat die erste Coincidenz zwischen den Strichen 1 und 1 statt, so wird die zweite zwischen den Strichen 5′ und 6 stattfinden.

Die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Coincidenzen verfliesst, beträgt

$$\frac{1}{6.72000} = \frac{1}{432000} = 0{,}0000023 \text{ Secunden.}$$

Ist die Dauer des Funkens kleiner als diese Zeit, so hat keine Erleuchtung im Augenblicke der zweiten Coincidenz statt; der Beobachter sieht also nur den leuchtenden Strich, welcher der ersten entspricht.

Leuchtet der Funken nach einer Coincidenz auf und ist er bereits wieder verschwunden, wenn die folgende Coincidenz eintritt, so sieht der Beobachter nichts. Man wird aus diesem Versuche folgern, dass die Dauer des Funkens geringer ist als 0,0000023.

Nehmen wir an, die Dauer des Funkens liege zwischen $\frac{1}{432000}$ und $\frac{2}{432000}$ Secunden. Leuchtet dieser Funken genau in dem Momomente einer Coincidenz auf, so wird er noch fortdauern, wenn die zweite Coincidenz eingetreten ist, der correspondirende Strich wird

Digitized by Google

also leuchtend sein. Wegen der Dauer des Lichteindruckes im Auge wird der leuchtende Strich der ersten Coincidenz gleichzeitig mit dem der zweiten sichtbar sein, man sieht zwei Striche zugleich: 1 und 2 wenn die Scheibe in der Richtung des Pfeiles rotirt, 1 und 6 wenn sie sich in entgegengesetzter Richtung dreht.

Leuchtet der betrachtete Funken zwischen zwei Coincidenzen auf und hat er beim Eintritte der dritten bereits wieder aufgehört, so sieht man blos einen leuchtenden Strich, welcher der zweiten Coincidenz entspricht.

Sieht man bei der vorausgesetzten Rotationsgeschwindigkeit bald einen, bald zwei leuchtende Striche, so folgert man, dass die Dauer des Funkens zwischen 0,"0000023 und 0,"0000046 beträgt.

Dieses Raisonnement lässt einsehen, was bei längerer Funkendauer eintreten wird: Die Dauer des Funkens ist zwischen zwei Zahlen enthalten, die leicht zu ermitteln sind und deren Differenz gleich der Zeit ist, welche zwischen zwei auf einander folgenden Coincidenzen verfliesst; man kann aber die Annäherung durch die folgende Methode noch weiter treiben.

In dem Momente, wo der Funken aufleuchtet, gibt es eine gewisse Wahrscheinlichkeit einer Coincidenz, welche abhängt von der Breite der Striche, von der der Theilstriche der beweglichen Scheibe und von der Anzahl der Striche des Verniers.

Nennen wir ε die Winkelbreite der Striche der beweglichen Scheibe, ε' die der Striche des Verniers, ω die Winkeldistanz der Mitten zweier auf einander folgender Striche der beweglichen Scheibe. Für jeden Strich des Verniers ist die Wahrscheinlichkeit der Coincidenz mit einem Striche der beweglichen Scheibe, wenn man dieser Scheibe eine beliebige Lage gibt, gleich

$$\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{\omega} = \frac{1}{m},$$

was nichts anderes bedeutet, als dass eine Coincidenz wahrscheinlich sein wird für m auf gut Glück genommene Positionen. Für die sechs Striche des Verniers wird die Wahrscheinlichkeit betragen

$$\mu = \frac{6}{m} = \frac{6\,(\varepsilon+\varepsilon')}{\omega}.$$

Man kann den Werth von μ direct messen, ohne ε, ε', ω zu kennen. Zu diesem Behufe beobachtet man ein fixes Licht, das an

Digitized by Google

die Stelle des Funkens gesetzt ist; bleibt die bewegliche Scheibe in Ruhe und wird sie in eine grosse Anzahl von beliebigen Positionen gebracht, so sieht man zu, wie oftmal eine Coincidenz statthatte. Unser Apparat ergab $\mu = 0{,}70$, was heisst, dass 70 Coincidenzen für 100 Positionen der Scheibe stattfanden.

Folgende Formel kann nun dazu dienen, die Funkendauer zu berechnen aus der Beobachtung der Anzahl der hellen Striche, die durch eine hinlänglich grosse Zahl N von Funken erzeugt wurden.

Es sei Θ die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Coincidenzen verfliesst und t die gesuchte Funkendauer, so hat man

$$t = k \cdot \Theta,$$

wo k im Allgemeinen ein Bruch sein wird.

Nach dem Vorhergehenden wird man bei

N Funken,
μN mal $(k+1)$ helle Striche und
$(1-\mu) N$ mal k helle Striche

sehen.

Die Gesammtzahl der wahrgenommenen Striche wird sein

$$S = \mu N (k+1) + (1-\mu) Nk,$$

woraus

$$S = N(k+\mu)$$

$$S = N\left(\frac{t}{\Theta} + \mu\right)$$

und endlich die gesuchte Formel

$$t = \Theta\left(\frac{S}{N} - \mu\right).$$

Die Methode besteht also darin, die Gesammtzahl S der sichtbaren Striche (die, je nachdem sie von vollständigen oder partiellen Coincidenzen herrühren, glänzend oder matt sein werden) zu zählen, die sich aus der Beobachtung von N Funken ergibt, ferner die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe zu messen, endlich daraus Θ herzuleiten und die Funkendauer aus der vorstehenden Formel zu berechnen.

Diese Methode hat den Vortheil, dass sie die Unregelmässigkeiten in der Bewegung und der Construction der Scheiben ausgleicht. Sie gibt das mittlere Resultat einer grossen Anzahl von Beobachtungen, bei welchen sich die Fehler compensiren. Ueberdies verschwinden die

Digitized by Google

Variationen des Funkens, welche die isolirten Beobachtungen fast unmöglich machen, in dem erhaltenen Mittelwerthe.

Die bewegliche Scheibe ist in eine Büchse eingeschlossen, deren einer Boden ein Glasfenster hat, welches sich im Gesichtsfelde des Ablesemicroscopes befindet, während der andere Boden die Verniere trägt. Die Drehung wird durch ein Räderwerk, ähnlich dem am Becquerel'schen Phosphoroscope, bewerkstelligt. In der Figur sieht man das Glasfenster FF, die 6 Striche des Verniers und einen Theil der beweglichen Scheibe.

Wir haben mit diesem Apparate die Funken studirt, die durch eine Batterie unter verschiedenen Umständen erhalten wurden. Die Batterie wurde mit einer Holtz'schen Maschine geladen. Ein Gasmotor nach dem Systeme Hugon setzte diese Maschine in Bewegung, und ebenso das Räderwerk des Chronoscopes.

Die Funken folgten auf solche Weise regelmässig auf einander und die Beobachtungen liessen sich leicht anstellen. Es seien

x die belegte Oberfläche des Condensators,
y die Länge des Funkens,
z der Widerstand des Schliessungsbogens,
a ein positiver Parameter, kleiner als Eins, der von der Isolirung der Batterie und der isolirenden Platte abhängt,
b ein zweiter positiver Parameter, kleiner als Eins, der von der Einheit des Explosionswiderstandes abhängt,
e ein dritter Parameter, der von der Einheit des Widerstandes im Schliessungskreise abhängt, endlich
H eine Constante, die von der Substanz der Entladungskugeln und dem Zustande ihrer Oberflächen abhängt;

so haben wir die allgemeine Formel gefunden, welche die Funkendauer als Function der drei Variabeln ausdrückt:

$$t = H \cdot \frac{(1-a^x)(1-b^y)}{1+cz^{\frac{1}{5}}}.$$

Wir haben auch die Cascadenentladung studirt und die Formeln für diesen Fall gegeben. Der Leser findet die Abhandlung in den Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. XXVI, p. 477.

Digitized by Google

Ueber das spectroscopische Reversionsfernrohr.

Von

F. Zöllner.

(Berichte der k. Sächsischen Gesellschaft.)

(Hiezu Tafel XXI, Figg. 5 u. 6.)

Vor einem Jahre hatte ich die Ehre, der Königlichen Gesellschaft die erfolgreiche Anwendung des früher von mir construirten Reversionsspectroscopes zur Beobachtung der Rotation der Sonne mitzutheilen. In dem Bestreben, das diesem Instrumente zu Grunde liegende und so ausserordentlich empfindliche Princip der Reversion der Spectra allgemein bei der Positionsbestimmung von Linien in die Spectralanalyse einzuführen, war ich bemüht, die Umstände, welche dem vor drei Jahren construirten Reversionsspectroscope[1]) nur eine beschränkte Anwendbarkeit gestatten, zu beseitigen. Es waren diese Umstände im Wesentlichen darin begründet, dass erstens die Anwendung von Prismen mit gerader Durchsicht unbedingt erforderlich war, und zweitens, die relative Verschiebung der beiden Spectra nur mit Hülfe der Verschiebung der beiden Objectivhälften des angewandten Fernrohres bewirkt werden konnte. Beides waren Bedingungen, durch welche die Anwendbarkeit des Princips jederzeit nur auf einen bestimmten und eng begrenzten Raum des Spectrums beschränkt bleiben musste. Durch die im Allgemeinen unveränderliche und feste Verbindung des leuchtenden Objectes (des Spaltes) mit dem Beobachtungsfernrohr ist man jedoch bei allen spectroscopischen Untersuchungen in den Stand gesetzt, die Reversion des ganzen oder getheilten Spectrums einfach durch ein Reversionsprisma mit totaler Reflexion zu bewirken. Hierdurch ist gleichzeitig die relative Verschiebung der beiden Spectra an die Winkelveränderungen der Reflexionsebene zur optischen Axe des Collimators geknüpft, und somit die Verschiebbarkeit der beiden

1) Berichte der k. Gesellschaft, Sitzung vom 6. Februar 1869.

Digitized by Google

Objectivhälften parallel der Schnittfläche nicht mehr erforderlich. Die Winkelveränderungen der total reflectirenden Prismenfläche können in doppelter Weise bewirkt werden, entweder durch eine micrometrische Bewegung des Prismas allein, oder durch eine Bewegung des ganzen, mit dem Prisma verbundenen Beobachtungsfernrohres. Es dürfte im Allgemeinen zweckmässig sein, beide Bewegungen zu vereinigen, so dass die erstere micrometrisch für Differentialbestimmungen, die zweite für Positionsbestimmungen aller Linien des Spectrums mit Hülfe von Index und Gradbogen ausführbar ist.

Das Reflexionsprisma kann im Wesentlichen an zwei verschiedenen Stellen des Beobachtungsfernrohres angebracht werden, nämlich entweder am Objectiv oder am Ocular.

Die Vortheile, welche sich den besonderen Zwecken entsprechend bei Anwendung der einen oder andern Construction darbieten, habe ich a. a. O. erörtert.

Ich erlaube mir gegenwärtig ein vollständig ausgeführtes Exemplar eines spectroscopischen Fernrohres mit Reversionsobjectiv vorzulegen, und gleichzeitig Messungen mitzutheilen, welche mit Anwendung eines Reversionsoculars an einem andern, von Herrn Merz nach meinen Angaben ausgeführten Spectroscope erhalten worden sind.

Das Fernrohr mit Reversionsobjectiv ist auf Tafel XXI (Fig. 5) in $\frac{1}{3}$ seiner natürlichen Grösse abgebildet.

Das Fernrohr A enthält bei B die durch die Schraube C senkrecht zur Schnittfläche beweglichen Objectivhälften. Durch diese Bewegung ist man im Stande, die beiden Spectra beliebig über einander greifen oder scharf, wie Nonius und Maassstab, neben einander erscheinen zu lassen; sie gestattet, zu diesem Zwecke nur die beiden Objectivhälften mehr oder weniger von einander zu entfernen, und nicht, wie früher, parallel den Schnittflächen nach Art der Heliometer micrometrisch zu verschieben.

In dem Behälter E ist das Reflexionsprisma angebracht, welches vor der einen Objectivhälfte durch die Schraube F beweglich ist. Die Schraube G gestattet, das ganze Fernrohr um die Axe K zu bewegen, und bewirkt hierdurch, wie oben bemerkt, die relative Verschiebung der beiden Spectra. Die Grösse dieser Winkelbewegung kann an einem getheilten Gradbogen H mit Hülfe der Lupe L abgelesen werden.

Digitized by Google

Bei *I* treten die Strahlen aus dem Prismensysteme in das Fernrohr; mit Hülfe des Schraubengewindes *M* kann das beschriebene Instrument mit jedem Spectralapparate in Verbindung gesetzt werden; es lässt sich dasselbe behufs der Justirung der brechenden Kanten des zerstreuenden und reflectirenden Prismas (*E*) vermittelst des ringförmigen Ansatzes *I* um seine Längsaxe drehen.

Das Merz'sche Spectroscop enthält zwei Prismensysteme mit gerader Durchsicht, welche einzeln oder combinirt angewandt werden können. Da bei der gewöhnlichen Einrichtung derartiger Spectroscope der Collimator jederzeit fest und unveränderlich mit dem Prismensatze verbunden ist, so ist man bei der starken Zerstreuung der angewandten Prismen nur auf einen verhältnissmässig geringen Theil des Spectrums beschränkt. Ich schlug daher Herrn Merz vor, diesem Uebelstande dadurch abzuhelfen, dass auch das Collimator-Fernrohr in ähnlicher Weise beweglich und seine Lage durch Index und Gradbogen controlirbar gemacht wird, wie dies beim Beobachtungsfernrohr geschieht. Es erwies sich diese Abänderung, welche ich schon früher bei den hier angefertigten Spectroscopen hatte anbringen lassen, vollkommen dem Zwecke entsprechend. Es dient alsdann selbstverständlich der Gradbogen am Collimator nicht zum Messen, sondern nur als Marke für die einem bestimmten Orte des Spectrums am besten entsprechende Stellung des Collimators.

Die Grösse der Zerstreuung und die Klarheit der Bilder bei dem für mich angefertigten und mir kürzlich aus München zugesandten Spectroscope ist so bedeutend, dass man zwischen den beiden Natronlinien im Sonnenspectrum ausser der Nickellinie noch deutlich eine feinere, brechbarere Linie erblickt, und zwar bei höchstem Stande der Sonne.

Die Verwandlung in ein Reversionsspectroscop wird bei diesem Instrumente einfach dadurch bewirkt, dass der Oculardeckel mit einem anderen vertauscht wird, welcher auf seiner inneren Seite ein kleines, die Ocularöffnung gerade zur Hälfte verdeckendes Reflexionsprisma enthält. Die reflectirende Fläche steht parallel der optischen Axe des Instrumentes und bewirkt hierdurch bei gleichzeitigem Parallelismus mit den brechenden Kanten der Zerstreuungsprismen eine partielle Umkehrung des Spectrums. Richtet man das mit einem solchen Reversionsoculare versehene Instrument auf eine mit Natron imprägnirte Kerzenflamme, so erblickt man zwei theilweise über einander greifende

Digitized by Google

Spectra, die sich durch micrometrische Bewegung des Beobachtungsfernrohres in entgegengesetztem Sinne verschieben, und eine ausserordentlich genaue Beobachtung der Coincidenz homologer Linien gestatten. Um auch bei Beobachtung der dunklen Linien im Sonnenspectrum das erwähnte theilweise Uebereinandergreifen der beiden Spectra zu bewirken, ist es erforderlich, ebenfalls divergente Strahlen auf den Spalt fallen zu lassen. Befindet sich daher das Spectroscop nicht in Verbindung mit einem Fernrohre, wo dann bei Coincidenz der Spaltebene mit dem optischen Bilde der Sonne der erwähnten Bedingung von selbst genügt ist, so reicht eine kleine Linse von kurzer Brennweite aus, welche vor dem Spalte befestigt den Sonnenstrahlen die erforderliche Eigenschaft ertheilt.

Fig. 6 auf Tafel XXI versinnlicht den Eindruck, welchen die beiden Natronlinien mit Anwendung des stärksten Oculars in dem beschriebenen Spectroscope machen; mit n ist die Nickellinie, mit x die oben erwähnte schwächere Linie bezeichnet.

Um eine Vorstellung von der grossen Genauigkeit zu geben, welche man mit Anwendung des Reversionsprismas bei Positionsbestimmungen von Linien erzielt, erlaube ich mir beifolgend eine Anzahl von Messungen über den Abstand der Natronlinien (ab) und der beiden andern, dazwischen befindlichen, Linien zu geben. Die angegebenen Zahlen sind Theile des Schraubenumfanges, wobei zu bemerken ist, dass für diese Messungen das Gewinde noch nicht fein genug war, indem die Zehntel der angegebenen Werthe geschätzt werden mussten. Die bei den Messungen zur Coincidenz gebrachten Linien sind durch die über jeder Columne zusammengestellten Buchstaben bezeichnet.

1. Reihe.				2. Reihe.			
aa_1	bb_1	$bb_1 - aa_1$	$\frac{1}{2}(bb_1 - aa_1)$	aa_1	an_1	ax_1	ab_1
25.7	31.6	5.9	2.95	26.0	27.4	28.0	29.0
25.7	31.7	6.0	3.00	26.0	27.5	28.0	29.1
25.8	31.7	5.9	2.95	26.0	27.6	28.1	29.0
25.9	31.8	5.9	2.95	26.1	27.6	28.1	29.1
25.9	31.8	5.9	2.95	26.1	27.6	28.1	29.1
26.0	31.8	5.8	2.90	26.2	27.5	28.1	29.1
25.9	31.8	5.9	2.95	26.2	27.6	28.2	29.0
25.8	31.9	6.1	3.05	26.2	27.7	28.1	29.1
26.0	31.9	5.9	2.95	26.1	27.5	28.2	29.1
25.9	31.9	6.0	3.00	26.2	27.5	28.1	29.0
			Mittel: 2.965 + 0.009	26.11	27.55	28.10	29.06

Digitized by Google

Wie man sieht, ist die Empfindlichkeit der Messungen eine ausserordentlich grosse und berechtigt bei der schnellen Vervollkommnung der spectroscopischen Instrumente wohl zu der Hoffnung, dass meine Bemühungen, die Rotation der Erde in ähnlicher Weise durch Verschiebung von Linien im Sonnenspectrum nachzuweisen, wie dies bereits in befriedigender Weise durch die Beobachtungen Vogel's bezüglich der Rotation des Sonnenkörpers geschehen ist[1]), in nicht allzu langer Zeit von Erfolg begleitet sein werden. Denn ein Punct des Aequators bewegt sich beim Aufgange der Sonne mit einer Geschwindigkeit von ungefähr $1/19$ geogr. Meile auf dieselbe zu, beim Untergange um dieselbe Grösse von derselben fort, so dass vermöge der Rotation ein Punct des Aequators innerhalb 24 Stunden in seiner relativen Bewegung zur Sonne eine Geschwindigkeitsänderung von ca. $1/10$ Meile erfährt. Diese Grösse würde aber bereits die Position der Natronlinien um $1/400$ ihres Abstandes verändern, und daher mit Hülfe des Reversionsprismas auf $1/200$ des wahrgenommenen Abstandes steigen. Da nun der oben aus 10 Beobachtungen abgeleitete Mittelwerth bereits nur einen wahrscheinlichen Fehler von $1/329$ des besagten Abstandes zeigt, so mag man hieraus ersehen, wie nahe die erfolgreiche Lösung des gestellten Problems bereits gerückt. Eine wie grosse Wichtigkeit diese Bestimmungen für die Ermittelung der Lichtgeschwindigkeit und durch ihre Verbindung mit der Aberrationsconstante für die Ermittelung der Sonnenparallaxe gewinnen können, lässt sich a priori nicht bemessen und hängt ganz von der fortschreitenden Verbesserung der spectroscopischen Instrumente ab.

Bezüglich der allgemeinen und leichten Anwendbarkeit des Reversionsprincipes bei spectrometrischen Untersuchungen erlaube ich mir schliesslich die Mittheilung zu machen, dass es mir gelungen ist, durch Combination zweier Reflexionsprismen, die unmittelbar hinter dem Oculardeckel angebracht sind, ein Reversionsocular zu construiren, welches auch die oben geforderte Bedingung einer scharfen Uebereinanderlagerung der beiden Spectra in vollkommener Weise erfüllt. Die reflectirenden Hypotenusenflächen der Prismen sind einfach senkrecht zu einander gestellt und zwar die eine parallel der Breite,

1) Vgl. Berichte der k. Gesellschaft, Sitzung am 1. Juli 1871, und: „Beobachtungen, angestellt auf der Sternwarte des Kammerherrn v. Bülow zu Bothkamp von Dr. H. C. Vogel, Astronom der Sternwarte". Leipzig (Engelmann) 1872.

Digitized by Google

die andere parallel der Länge des Spectrums. Die eine Hälfte der Ocularöffnung wird durch Licht aus dem ersten, die andere durch Licht aus dem zweiten Prisma gespeist, so dass das erste Prisma die Reversion, das andere bei entsprechender Neigung der Reflexionsebene die Juxtaposition des (bezüglich der Farbenordnung) unveränderten Spectrums bewerkstelligt. Die Wirkung dieses Oculars ist eine überraschende; wird dasselbe z. B. mit einem kleinen Browning'schen Miniaturspectroscope in Verbindung gesetzt, so ist dasselbe sofort in einen Messapparat verwandelt, welcher durch micrometrische Bewegung des Reversionsprismas die Positionsbestimmung der Spectrallinien durch Coincidenzen mit aller bei einem so compendiösen Instrumente nur wünschenswerthen Empfindlichkeit gestattet.

Sobald eine genügende Anzahl von Messungen vorliegt, die nach dieser Methode an Sternspectren ausgeführt sind, werde ich mir erlauben, der Königlichen Gesellschaft die Ergebnisse meiner Beobachtungen mitzutheilen.

Digitized by Google

Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrösserung der optischen Instrumente.

Von

N. Lubimoff.

I.

Seit einiger Zeit mit der Bearbeitung eines Lehrbuchs der Physik auf historischer Grundlage beschäftigt, war ich nicht wenig erstaunt, als ich bei der Behandlung des Capitels über die optischen Instrumente die Frage von dem Gesichtsfelde des Galilei'schen Fernrohrs überlegte und fand, dass die allgemein anerkannte Theorie dieses Apparates, in Bezug auf den genannten Punct, nichts Anderes als ein grober Fehler ist, welcher aus einem Lehrbuche in das andere übergegangen, ohne eine aufmerksame Kritik auf sich zu ziehen. Es wird angenommen, dass das Gesichtsfeld des Galilei'schen Fernrohrs von der Grösse der Pupille des beobachtenden Auges abhänge und durch den Winkel gemessen werde, unter dem die Pupillenöffnung erscheinen würde, wenn man dieselbe vom Mittelpuncte des Objectivs aus betrachtete. Und doch kann man sich durch eine ganz flüchtige Beobachtung überzeugen, dass das auf diese Weise bestimmte Gesichtsfeld mehreremal, etwa fünf- bis sechsmal, kleiner ist, als das wirkliche. Auch wird man sich mit leichter Mühe überzeugen, dass die Augenbewegungen, durch welche man bisweilen das offenbar viel zu kleine Resultat der Theorie berichtigen zu können glaubt, durchaus nicht die Bedeutung haben, die ihnen zugeschrieben wird.

Bevor ich auf die Erörterung der Fehlerquelle eingehe und den wahren Werth des Gesichtsfeldes für den bezeichneten Fall auseinandersetze, will ich ein paar Citate anführen, um an die allgemein angenommene Lehre zu erinnern.

So finden wir im Lehrbuche der Physik von Wüllner (1862, Bd. I, S. 856):

Digitized by Google

„Da bei dem Galilei'schen Fernrohr die Strahlen von dem Oculare aus sofort divergiren, so ist das Gesichtsfeld immer nur sehr klein, es wird bei der Annahme, dass das Auge unmittelbar am Oculare ist, durch die Oeffnung eines Kegels gemessen, dessen Spitze die Mitte des Objectives und dessen Basis die Pupille des Auges ist. Man kann daher, wenn das Gesichtsfeld einigermaassen gross sein soll, immer nur kleine Vergrösserungen damit erzielen. Daher werden diese Fernrohre auch fast nur zu Zwecken benutzt, wo kleine Vergrösserungen ausreichen, wie zu Theaterperspectiven etc."

Im Lehrbuche der Physik von Pouillet-Müller (1862, Bd. I, S. 719) steht:

„Da die aus dem Ocular des holländischen Fernrohres austretenden Strahlen divergiren, so ist klar, dass nur von demjenigen Theile des Objectivs, welcher sich unmittelbar vor der Pupille befindet, Strahlen ins Auge gelangen können. Aus diesem Grunde ist das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohres sehr klein, es wird durch die Mantelfläche des Kegels begrenzt, dessen Basis die Pupille und dessen Spitze der Mittelpunct des Objectivs ist."

Im Lehrbuche der technischen Physik von Hessler-Pisco (1866, Bd. II, S. 1015) finden sich zwar einige Bemerkungen, die der Wahrheit näher kommen; sie sind aber ohne Erklärung und ohne eine Entwickelung gegeben. Wir lesen:

„Das Gesichtsfeld hängt auch von der Grösse des Objectivs ab. Dies erhellet, wenn man bedenkt, dass von den Strahlen, welche am Rande auch eines grossen Objectivs auffallen, immer noch ein Theil in das Auge gelangen und man also ein grosses Feld übersehen kann, wenn das Ocular gross genug ist und man das Auge über der Fläche desselben hinbewegt. Doch wird der Grösse des Oculars und somit auch des Objectivs dadurch eine Grenze gesetzt, dass, um Verzerrungen des Bildes am Rande zu vermeiden, die Oeffnung des Oculars nie mehr als die Hälfte oder höchstens 0.6 seiner Brennweite betragen darf."

Im Lehrbuche der Physik von Reis lesen wir:

„Indessen darf die Ocularlinse nicht sehr klein werden, weil sonst das Gesichtsfeld, dessen Basis sich bei ruhigem Sehen wegen der starken Divergenz der aus dem Ocular tretenden Strahlen auf die Pupille beschränkt, nicht durch Bewegungen des Kopfes etwas erweitert werden könnte. Deshalb sind keine bedeutenden Vergrösserungen mit diesem Fernrohre zu erreichen."

Digitized by Google

Im Lehrbuche von Eisenlohr ist nichts über das Gesichtsfeld des Galilei'schen Fernrohres gesagt. Selbst in dem bekannten Werke von Prechtl: Practische Dioptrik (Wien 1828, S. 223) lesen wir:

„Die nützliche Oeffnung des Oculars ist hier also der Augenöffnung gleich; indem Strahlen, welche ausserhalb m und n fallen, nicht mehr in diese Oeffnung gelangen können, wenn das Auge unverrückt stehen bleibt. Das Auge muss daher auch dem Ocular ganz nahe gebracht werden, wenn die äusseren Strahlen nicht verloren gehen sollen, wodurch das Gesichtsfeld verringert würde. Ist das Ocular aber grösser als die Augenöffnung, so wird, indem das Auge sich über die Fläche des Oculars hinbewegt, ein grösseres Gesichtsfeld übersehen. Das Gesichtsfeld hängt übrigens in dieser Art von Fernrohren auch noch von der Oeffnung des Objectives ab: denn die Betrachtung der Figur zeigt, dass von den Strahlen, welche gegen den Rand des Objectives einfallen, immer noch ein Theil in das Auge gelangen kann, während ein anderer das Auge bereits vorbeigeht. Für den Fall der unverrückten Lage des Auges ist das Gesichtsfeld $= \frac{p-q}{x}$."

(Bemerken wir, dass nach Prechtl x den Diameter der nützlichen Oeffnung des Oculars, welcher ungefähr dem Durchmesser der Pupille gleich ist; p und q sind die Brennweiten des Objectivs und Oculars.)

In den meisten französischen Lehrbüchern befindet sich nichts über das Gesichtsfeld des Galilei'schen Fernrohres; dieser Gegenstand ist in den Lehrbüchern von Jamin, Boutan und d'Almeida gar nicht berührt; nur Pouillet bemerkt, dass dieses Gesichtsfeld ungefähr 5^0 bis 6^0 sein kann. Im Lehrbuche von Daguin (Traité de Physique, T. III, p. 656, 1860) lesen wir:

„On voit que les faisceaux s'écartent les uns des autres en sortant de l'oculaire; de sorte que le champ serait peu étendu. Pour l'avoir le plus grand possible il faudra mettre l'oeil tout près de l'oculaire. Le champ se mesure alors par l'angle sous-tendu par le diamètre de la pupille et ayant son sommet au centre de l'objectiv. Il ne dépend donc pas de la grandeur de l'oculaire, pourvu que cet oculaire ne soit pas moindre que la pupille et il peut être représenté par le diamètre de la pupille divisé par la distance des deux verres."

Aus den englischen Lehrbüchern führe ich eine Stelle aus dem Werke von Potter an (Potter, Treatise on optics, P. 1, p. 147): „The eye being placed close to the eyeglass, and q_1 be the point in

Digitized by Google

the image determined by drawing a line trough the center of the object-glass and the upper edge of the pupil of the eye, theg the point in the object corresponding to q_1 will be senn by halfpencils and may be taken as the limit of the field of view. Let the half aperture of the pupil equal a, then the angular field of view $= \frac{a}{f_0 - f_e}$."

In keinem der Lehrbücher, die ich Gelegenheit hatte durchzulesen, habe ich eine richtige Bestimmung des Gesichtsfeldes des Galilei'schen Fernrohres gefunden. Der Fehler, so weit ich ihn verfolgen konnte, rührt von Euler (Briefe an eine deutsche Prinzessin, P. III, S. 247, Leipzig 1780) her und hat seinen Grund darin, dass er ein Princip, welches für das Kepler'sche Fernrohr richtig ist, auf den Fall eines concaven Oculars angewandt hat, für welches dasselbe keine Gültigkeit hat. Er sagt:

„Nunmehr wollen wir das äusserste sichtbare Ende des Objects betrachten, dessen Strahlen genau die ganze Oeffnung des Objectivglases anfüllen. Doch es wird genug sein, wenn wir nur den einen Strahl betrachten, der durch die Mitte des Objectivglases geht, weil die andern Strahlen ihn umgeben und beinahe nichts weiter thun, als ihn verstärken, so dass, wenn dieser Strahl ins Auge fällt, die andern oder wenigstens ein guter Theil zugleich hinein fallen, und wenn dieser Strahl nicht ins Auge fällt, obgleich vielleicht einige von den andern einfallen, sie doch zu schwach sind, um in dem Auge einen hinlänglich lebhaften Eindruck zu erwecken. Und also werden wir diese Regel festsetzen können, dass das äusserste Ende des Objects nur in sofern gesehen wird, als der (Central-)Strahl, nachdem er durch die beiden Gläser gegangen, ins Auge fällt."

Aus diesem Principe ergiebt sich sehr leicht das Gesichtsfeld des Kepler'schen Fernrohres. Die Centralstrahlen divergirten aus dem Centrum des Objectivs, wie aus einem Puncte und werden durch das Ocular in einem Puncte an der Stelle vereinigt, an welcher das Ocular, in dem es wie eine convexe Linse wirkt, ein Bild der Oeffnung des Objectivs giebt. Befindet sich das Auge an dieser Stelle, so erhält es alle centrale Strahlen, die auf das Ocular fallen, folglich wirkt letzteres mit seiner ganzen Oeffnung. Da bei einem concaven Ocular die centralen Strahlen divergiren, so erhält das Auge, selbst wenn es sich am Ocular befindet, nur so viel Strahlen, als durch die Oeffnung der Pupille hindurch gehen. Diese Bemerkung ist zwar in Bezug auf

Digitized by Google

Centralstrahlen vollkommen richtig, berechtigt aber nicht zu einem Schluss über das Gesichtsfeld, da ein beträchtlicher Theil des Bildes auf der Retina ohne centrale Strahlen, nur durch die Seitentheile des Objectivs gebildet wird.

II.

Es ist nicht schwer, die richtige Theorie der Erscheinung aufzustellen, wenn wir ein Princip benutzen, welches überhaupt bei der Entwickelung einer elementaren Theorie der optischen Bilder von vielem Nutzen ist und dessen ich mich öfters bei meinem Vortrage bediene. Dieses Princip besteht darin, dass wir den bilderzeugenden Apparat (z. B. Linse oder Spiegel) als eine Oeffnung oder ein Fenster, das Bild selbst als einen Gegenstand betrachten, welcher in bestimmter Weise hinter jener Oeffnung gelegen ist und durch dieselbe beobachtet wird. Von diesem Gesichtspuncte aus kann man z. B. eine Loupe als eine Oeffnung ansehen, hinter welcher statt des kleinern, beobachteten Gegenstandes sich ein ähnlicher, aber grösserer und entfernterer Gegenstand befindet, dessen Grösse durch den Winkel bestimmt ist, den die vom Mittelpuncte der Loupe zum obersten und zum untersten Puncte des Gegenstandes gezogenen Linien einschliessen und dessen Entfernung sich nach einer bekannten Formel berechnen lässt. Wir werden später sehen, zu welchen Folgerungen uns diese einfache Anschauung führen kann, in welcher, wie ich zu zeigen hoffe, eine merkwürdige Gesichtstäuschung ihre Erklärung findet. Wenden wir dasselbe Princip auf die Bestimmung des Gesichtsfeldes des Galilei'schen Fernrohres an, so können wir folgendermaassen verfahren. Wenn wir durchs Fernrohr sehen, so erblicken wir einen hellen Kreis vor uns, in welchem sich alle zu Gesicht kommenden Gegenstände befinden und der die Rolle des erwähnten Fensters spielt. Was ist dieser Kreis? Es ist leicht zu begreifen, dass er nichts anderes ist, als das von dem zerstreuenden Ocularglas herrührende (wegen der Nähe des Auges nicht ganz scharf begrenzte) subjective Bild der Objectivöffnung. (Gewöhnlich wird vor dem Ocular ein Diaphragma gesetzt, da ihm aber eine solche Weite gegeben wird, dass es das Gesichtsfeld nicht beeinträchtige, so darf man die Grösse des Diaphragmas als identisch mit der des subjectiven Bildes nehmen.) Da nun überhaupt vom Mittelpuncte einer Linse aus jeder Gegenstand unter demselben Winkel wie sein Bild gesehen wird, so können wir als

Digitized by Google

Maass für die Winkelgrösse des Durchmessers jenes hellen Fensters (vorausgesetzt, dass das Auge am optischen Mittelpuncte des Oculars sich befindet) annäherungsweise den Quotienten nehmen, welcher durch Division des Objectivdurchmessers durch die Entfernung des Objectivs vom Ocular erhalten wird, d. h. den Quotienten $\frac{D}{\Delta}$, wo D den Durchmesser des Objectivs, Δ die besagte Entfernung bedeutet, welche letztere, der Theorie des Fernrohres zufolge, gleich ist der Differenz $F_1 - F_2$ der Brennweiten des Objectivs und des Oculars. Im Winkelmaass ausgedrückt, wird jener Quotient $\frac{360}{2\pi}\frac{D}{F_1 - F_2}$ betragen, wenn wir durch ein Fenster von solcher Winkelgrösse mit blossem Auge den Gegenstand betrachteten, so würde uns diese Gradenzahl direct angeben, den wievielsten Theil des ganzen Kreises äusserer Gegenstände wir auf einmal besehen können. Um den genannten Theil practisch zu bestimmen, wäre es hinreichend, sowohl Objectiv- wie Ocularlinse wegzunehmen und, ohne die vorige Lage des Auges zu verändern, durch die leere Rohröffnung hinaus zu schauen Da nun aber das Fernrohr eine etwa n-malige Vergrösserung besitzt, d. h. den Gegenstand so zu sagen n-mal näher an das Auge bringt, so werden wir mit dem Fernrohr durch eine Oeffnung von derselben sichtbaren Grösse wie vorhin einen n-mal kleineren Theil des äusseren Objectenkreises auf einmal ins Auge fassen. Wollen wir also das wahre Gesichtsfeld des Galilei'schen Fernrohres ermitteln, so ist der obige Ausdruck noch durch n oder durch $\frac{F_1}{F_2}$ zu dividiren, da nach der Theorie des Fernrohres die Vergrösserung n ungefähr diesem Verhältnisse gleich ist. Folglich ist das Gesichtsfeld

$$\frac{360^0}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}.$$

Die durch unsere Betrachtungen erhaltene Relation zwischen Gesichtsfeld und Vergrösserung giebt ein sehr einfaches Mittel an die Hand, den Werth dieser letzteren zu bestimmen. Dazu braucht man nur mit blossen Augen durch eine Oeffnung zu sehen, deren sichtbare Grösse der sichtbaren Grösse des hellen Kreises gleich kommt, und dessen Raum mit demjenigen zu vergleichen, den wir durchs Fernrohr sehen (z. B. zu zählen, wie viele Fenster eines Gebäudes durch eine Oeffnung resp. durch ein Fernrohr gesehen werden). Um aber eine Oeffnung von derselben sichtbaren Grösse, wie der helle Kreis des

Digitized by Google

Fernrohres, zu erhalten, kann man entweder, wie schon erwähnt, ganz einfach sowohl Objectiv- wie Ocularlinse fortnehmen, oder auch irgend ein genaueres Mittel anwenden. Ich will hier auf die Erörterung ähnlicher Mittel nicht weiter eingehen, da die von mir nach dem ausgesprochenen Gedanken projectirten Apparate bis jetzt noch keine practische Ausführung erhalten haben.

III.

Die von uns entwickelte Theorie zeigt, dass das Gesichtsfeld des Galilei'schen Fernrohres unmittelbar von der Grösse der Objectivöffnung abhängig ist.

Man kann nachweisen, welcher Theil des Objectivs an der Erzeugung eines gegebenen Theiles des Bildes betheiligt ist. Der Weg, den wir dazu einschlagen wollen, wird uns gleichzeitig einen neuen Gesichtspunct auf die Theorie des Fernrohres gewähren. Es sei MM (Fig. 1) das Objectiv, PP seine Focalebene, in welcher entfernte Gegenstände abgebildet werden. Bringen wir zwischen dem Objectiv und der genannten Ebene ein Diaphragma mit kleiner Oeffnung an, so wird das Bild in der Focalebene nach wie vor bestehen (auch in grösserer Nähe kann es aufgenommen werden); es wird nur der Unterschied eintreten, dass jeder Punct des Bildes nicht mehr durch Vereinigung aller Strahlen eines conischen Bündels erzeugt sein wird, welches das ganze Objectiv zu seiner Basis hat, sondern lediglich durch denjenigen Theil dieses Bündels, welcher durch die kleine Oeffnung hindurch geht und als ein einziger Strahl betrachtet werden kann. Dabei wird für einen gegebenen Punct des Bildes nur derjenige kleine Theil des Objectivs Strahlen liefern, welcher der geraden Linie entspricht, die von dem bezeichneten Punct durch die Oeffnung bis zum Objectiv geht. Die Grenzen des Bildes werden durch die Linien MA und MB bestimmt. Ersetzen wir nun das durchlöcherte Diaphragma durch ein Galilei'sches Ocular, hinter dem sich das Auge des Beobachters befindet. Die Erscheinung wird in ihren Hauptzügen unverändert bleiben, denn

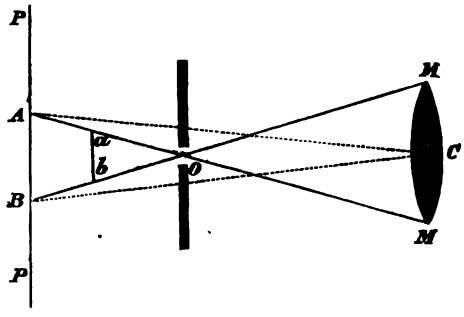


Fig. 1.

Digitized by Google

wir können das Auge als eine dunkle Kammer betrachten, auf deren hinterer Wand (d. h. auf der Netzhaut) sich das durch die vorne liegende Oeffnung erzeugte Bild befindet. Der optische Theil des Auges und das unmittelbar vor ihm stehende Ocular dienen dabei nur dazu, das Bild auf der Netzhaut, trotz der nicht sehr kleinen Weite der vorderen Oeffnung, deutlich zu machen, und können für theoretische Behandlung durch eine Linse ersetzt gedacht werden, welche an die erweiterte Oeffnung mm des Diaphragmas angebracht (Fig. 2) ist. Der Unterschied zwischen der Wirkung einer solchen Linse und der der kleinen Oeffnung besteht darin, dass das Bild nur dann ein deutliches wird, wenn der Schirm in einer bestimmten Entfernung steht, und zwar näher an die Linse als ihre Focalebene PP, z. B. in ab. Dabei wird dem Bilde ab ungefähr derselbe Winkel entsprechen, wie dem Bilde AB. Derjenige Theil des Objectivs, welcher bei der Erzeugung eines gegebenen Bildpunctes in ab betheiligt ist, wird durch die Linien bestimmt, welche von dem diesem Puncte entsprechenden Orte im Bilde AB (z. B. von dem Puncte A, wenn es sich um den Punct a in ab handelt) zur Grenze mm der Linse gezogen und bis zum Objectiv verlängert werden. Als Contour der fictiven Linse mm müssen wir offenbar die Pupillenöffnung des beobachtenden Auges annehmen. Es sei E der Durchmesser der Pupille, x der Durchmesser des wirkenden Objectivtheiles pp, dann wird diese letztere Grösse näherungsweise gültig durch die Gleichung bestimmt:

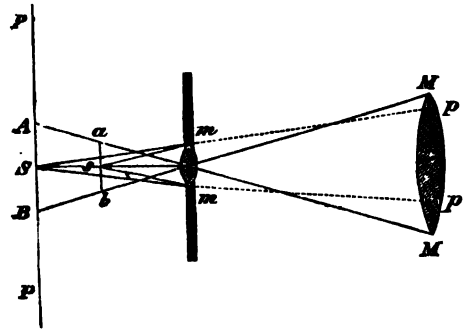


Fig. 2.

$$\frac{x}{F_1} = \frac{E}{F_2}.$$

In der angeführten Betrachtung ist überhaupt die ganze Theorie des Galilei'schen Fernrohres enthalten. Die Netzhaut ist die Ebene, die das Bild ab aufnimmt. Da dieses Bild ein verkehrtes ist (wie alle Netzhautbilder beim Sehen mit blossem Auge), so werden wir die Gegenstände aufrecht sehen. Der Gesichtswinkel, unter welchem der in ab abgebildete Theil des sichtbaren Kreises erscheint, wird

Digitized by Google

durch die Linien bestimmt, die vom Mittelpuncte der fictiven Linse mm nach a und b, oder, was dasselbe ist, nach A und B gezogen sind und hat $\frac{AB}{F_2}$ als Maass; der Gesichtswinkel, unter dem derselbe Theil des sichtbaren Raumes dem blossen Auge erscheinen würde (vorausgesetzt, dass dasselbe sich im Mittelpuncte des Objectivs befände), wird durch die von diesem Mittelpunct nach A und B gezogenen Geraden bestimmt, und durch $\frac{AB}{F_1}$ gemessen. Das Verhältniss beider Winkel ist nun die Vergrösserung $n = \frac{F_1}{F_2}$.

Da wir durchs Fernrohr nur denjenigen Theil des äusseren Kreises auf einmal übersehen, dessen Bild in der Focalebene des Objectivs die Strecke AB einnimmt, so giebt uns der Ausdruck $\frac{360^0}{2\pi} \cdot \frac{AB}{F_1}$ direct den Werth des Gesichtsfeldes an. Es ist aber $\frac{AB}{D} = \frac{F_2}{F_1 - F_2}$, wo D den Durchmesser des Objectivs bedeutet und $F_1 - F_2$ die Entfernung zwischen demselben und dem Puncte, wo Auge und Ocular sich befinden. Hieraus ergiebt sich der schon oben hergeleitete Ausdruck des Gesichtsfeldes

$$\frac{360}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}.$$

Endlich können wir den Werth des Gesichtsfeldes unmittelbar finden, wenn wir Folgendes erwägen. Wäre statt des Objectivs eine einfache Oeffnung MM (Fig. 3) vorhanden, würde das in O befindliche Auge denjenigen Theil des Raumes übersehen, welcher dem Winkel SOS entspricht, und die Strahlen MO, MO würden von den äussersten sichtbaren Gegenständen kommen, welche in den Richtungen SO, SO liegen. In Folge der Brechung im Objectiv bilden die zum Auge gehenden Strahlen MO, MO eine nicht gerade Verlängerung der Strahlen $S'M$, $S'M$, welche nicht in O, sondern weiterhin in O', in der Entfernung x vom Objectiv, zusammentreffen. Folglich sind die Grenzen des sichtbaren Raumes

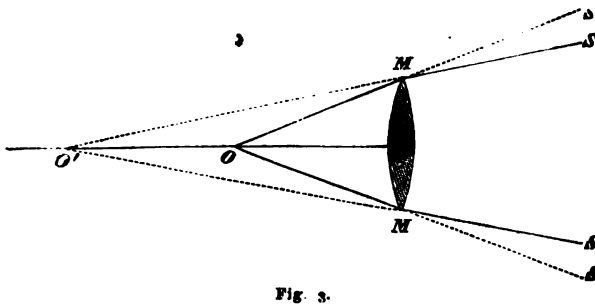


Fig. 3.

Digitized by Google

durch den Winkel $MO'M$ bestimmt. Die Grösse des Gesichtsfeldes wird gleich $\frac{D}{x} \cdot \frac{360^0}{2\pi}$ sein. Die Entfernung x ergiebt sich aus der Formel der conjugirten Brennpuncte; da O und O' conjugirte Brennpuncte sind, so wird

$$\frac{1}{F_1 - F_2} - \frac{1}{x} = \frac{1}{F_1}.$$

Folglich wird das Gesichtsfeld wie vorhin gleich

$$\frac{360^0}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}.$$

IV.

Die von uns entwickelte Theorie lässt sich nicht allein auf das Galilei'sche Fernrohr, sondern auch auf das Kepler'sche Telescop anwenden. Hier bildet (im Fall eines einfachen Oculars) die Oeffnung des Oculars selbst dasjenige Fenster, durch welches wir hindurch schauen. Der Winkelwerth desselben wird näherungsweise gefunden, wenn wir den Durchmesser d des Oculars durch die Entfernung des Augenpunctes O vom Ocular dividiren, — diese Entfernung ist, wie leicht einzusehen, gleich $\frac{F_2(F_1 + F_2)}{F_1}$, — und mit $\frac{360^0}{2\pi}$ multipliciren. Durch dieses Fenster werden wir, in Folge der n-maligen Vergrösserung des Fernrohres oder der scheinbaren n-fachen Annäherung der Gegenstände, einen n-mal kleineren Theil des äusseren Objectenkreises übersehen, als derjenige Theil ist, den wir zu sehen bekämen, wenn keine optische Wirkung des Apparates da wäre, und wir direct durch eine Oeffnung vorbesagter Grösse hindurch schauten. Demnach erhalten wir das Gesichtsfeld, wenn wir den erwähnten Winkelwerth durch $n = \frac{F_1}{F_2}$ dividiren. Folglich ist das Gesichtsfeld gleich $\frac{d}{F_1 + F_2}$, d. h. gleich der scheinbaren Grösse der Ocularöffnung, vom Mittelpunct des Objectivs aus gesehen, was mit der gewöhnlichen Theorie übereinstimmt.

Im Falle eines zusammengesetzten negativen Oculars bildet die Oeffnung des Diaphragmas, welches sich zwischen den Linsen des Oculars befindet, das erwähnte Fenster. Diese Oeffnung, die ungefähr der Oeffnung der zweiten Linse des Oculars entspricht, sehen wir durch die erste, dem Auge zunächst liegende Linse desselben. Nehmen

Digitized by Google

wir das Ocular aus der Röhre, entfernen seine Linsen und betrachten durch das leere Röhrchen die äussern Gegenstände (indem das Auge dieselbe Stelle am Röhrchen einnimmt, die es haben muss, wenn das Ocular, mit Linsen versehen, zum Beobachten dient), vergleichen endlich den auf diese Weise sichtbaren Theil des Kreises äusserer Gegenstände mit demjenigen einige male kleineren Theile, den wir durch die mit dem Ocular versehene Röhre überblicken, so giebt das Verhältniss dieser Theile die Vergrösserung. Die Vergrösserung kann aber viel genauer bestimmt werden, wenn, indem man mit einem Auge durch die Röhre sieht, man zu gleicher Zeit mit dem andern freien oder auch mit demselben Auge (es ist nicht schwer, eine Vorrichtung zu ersinnen, durch welche eine solche gleichzeitige Beobachtung möglich wäre) ein Diaphragma mit runder Oeffnung beobachtet, das man entfernen und annähern kann, so dass dessen Oeffnung unter demselben Sehwinkel erscheine, wie das Sehfenster der Röhre. Eine vergleichende Beobachtung derselben Gegenstände durch die Oeffnung des Diaphragmas und durch die Röhre führt leicht zu einer Bestimmung der Vergrösserung. Ich behalte es mir vor, in der Folge eine von mir erdachte Vorrichtung zu beschreiben, welche diese so einfache Methode zur Bestimmung der Vergrösserung möglich macht, eine Methode, die, wie mir scheint, einer grossen Genauigkeit fähig ist, und in etwas veränderter Form auf das Microscop angewendet werden kann.

Die Theorie des negativen Oculars stellt sich auf Grundlage unseres Principes auf eine höchst einfache Weise dar. Es sei MM (Fig. 4) das Objectiv, PP seine Focalebene, OO die erste Linse des

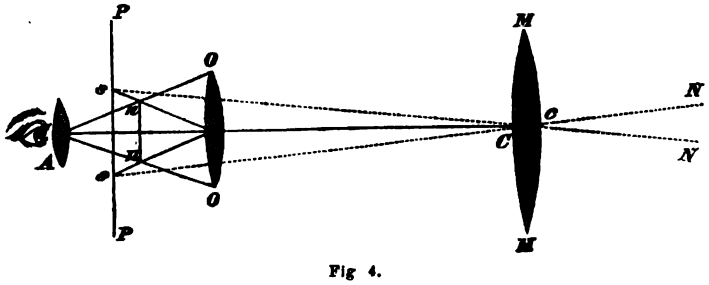


Fig 4.

Oculars, die dem Objectiv näher liegt als seine Focalebene. Im Puncte A denken wir uns das Auge zusammen mit der vorderen Linse des Oculars. (Der Punct A ist, wie es sich später zeigen wird, vom Objectiv entfernter als die Focalebene.) Vom Puncte A aus kann durch

Digitized by Google

die erste Linse des Oculars OO der Raum, welcher von dem Winkel OAO begrenzt ist, übersehen werden. In diesem Winkel befindet sich das wirkliche dem Auge sichtbare Bild nn der äusseren Gegenstände, welches ohne die Linse OO auf die Focalebene PP fallen würde. Nach der Construction des negativen Oculars ist die Entfernung des Bildes vom Puncte A ungefähr der Brennweite F_3 der vordern Linse des Oculars, an der sich das Auge befindet, gleich. (Bedeutet F_1 die Brennweite des Objectivs, F_2 die Brennweite der Linse OO, so ist $F_3 = \frac{1}{3}F_2$ und die Entfernung des Punctes A von der Linse OO gleich $2F_3$.) Es wird demnach $nn = \frac{1}{2}OO$, und bezeichnet man mit Δ die Entfernung der Linse OO von dem Objectiv, so wird die Grösse Δ aus der Gleichung

$$\frac{1}{F_3} - \frac{1}{F_1 - \Delta} = \frac{1}{F_2} \quad \text{oder} \quad F_1 - \Delta = \frac{3}{2}F_3$$

bestimmt. Auf diese Weise ergiebt sich

$$\frac{ss}{nn} = \frac{F_1 - \Delta}{F_3} = \frac{3}{2}$$

und hieraus

$$ss = \frac{3}{2}nn = \frac{3}{4}OO = \frac{3}{4}d,$$

wo d die Oeffnung der Linse OO bedeutet.

Die Grösse des Gesichtsfeldes ist offenbar

$$\frac{ss}{F_1} \cdot \frac{360^0}{2\pi} = \frac{3d}{4F_1} \cdot \frac{360^0}{2\pi}.$$

Vergleicht man den Winkel $nAn = OAO$ mit dem Winkel sCs, so erhält man die Vergrösserung; dieselbe ist

$$G = \frac{OO}{2F_3} : \frac{ss}{F_1}.$$

Da aber

$$OO : ss = \frac{4}{3}, \quad 2F_3 = \frac{2}{3}F_2,$$

so wird

$$G = \frac{2F_1}{F_2}.$$

Diese Resultate stimmen mit der gewöhnlichen Theorie des negativen Oculars überein.

Digitized by Google

V.

Zum Schlusse will ich noch einiger optischen Täuschungen erwähnen, die sich sehr einfach aus unserer Theorie der optischen Fenster erklären.

Es ist bekannt, dass eine convexe Linse Gegenstände, die sich hinter derselben auf einer Entfernung, die kleiner als die Brennweite ist, befinden, dem Auge vergrössert erscheinen lässt. Vielleicht ist es von Vielen schon bemerkt worden, dass, wenn bei unveränderter Entfernung der Linse von dem Gegenstande wir von derselben uns entfernen, der Gegenstand zu wachsen scheint, besonders wenn er in der Nähe des Brennpunctes sich befindet und z. B. aus einer Reihe schwarzer Streifen auf weissem Grunde besteht (wie Linien in einem Buche oder Striche). Dem ersten Eindrucke nach zu urtheilen, ist es schwer anzunehmen, dass dieses offenbare Wachsen des Gegenstandes eine Täuschung sei und dass wirklich die Grösse des Bildes auf der Netzhaut, oder mit andern Worten, der Winkel, unter welchem der durch die Linse gesehene Gegenstand uns erscheint, abnimmt, wenn wir uns von der Linse entfernen. Es ist aber in der That so; dies folgt aus der Wirkung der Lupe und kann leicht durch einen Versuch bestätigt werden, der beweist, dass diese Vergrösserung nur eine scheinbare ist. Ein Experiment folgender Art ist zu diesem Zwecke hinreichend: Hinter der Linse aa (Fig. 5) auf einer Entfernung, die kleiner als ihre Brennweite ist, wird ein aus Pappe verfertigtes Ecran $mnpq$ angebracht, auf dem eine Reihe horizontaler Linien in gleicher Entfernung von einander verzeichnet ist. Hinter diesem Ecran befindet sich ein zweites grösseres Ecran $MNPQ$; letzteres ist in einer solchen Entfernung angebracht, in welcher, der angeführten Theorie nach, der durch die Linse sichtbare Theil des Ecrans $mnpq$ erscheint. Es wird ausserdem vorausgesetzt, dass die Linien, welche auf dem grössern Ecran verzeichnet sind, ebenso weit von einander abstehen, als scheinbar die durch die Linse sichtbaren Linien des ersten Ecrans. (Die Entfernung des Ecrans $MNPQ$ von der Linse, so wie der Abstand seiner Linien von einander kann leicht durch Berechnung bestimmt und durch einen besonderen Versuch bestätigt werden.) In diesem Falle wird der Theil des Ecrans $mnpq$, welcher durch die Linse sichtbar ist, dasselbe Aussehen haben, wie die unmittelbar gesehenen Ränder des Ecrans $MNPQ$, und wenn eine der Linien, welche durch

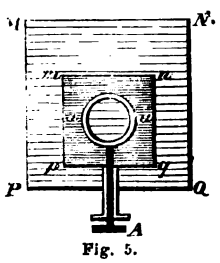


Fig. 5.

Digitized by Google

die Linse gesehen werden, der Richtung nach mit einer Linie des grössern Ecrans zusammenfällt, so werden auch alle durch die Linse sichtbaren Linien mit den entsprechenden Linien des letztern zusammenfallen. Ein Versuch bestätigt es nun, dass dieses Zusammenfallen der Linien auch dann noch fortbesteht, wenn wir uns von der Linse entfernen. Zu gleicher Zeit bemerken wir, dass die Anzahl der Linien, welche durch die Linse sichtbar sind, sich verkleinert.

Die Fig. 6 bezieht sich auf einen ähnlichen Versuch, der in etwas veränderter Form die Erscheinung noch deutlicher erkennen lässt. Auf einem Vierecke aus Pappe, welches an dem Gestelle *A* befestigt ist, sind zwei Oeffnungen angebracht; hinter einer derselben befindet sich ein Vergrösserungsglas auf dem Gestelle *B* und ein kleines Ecran mit einer Reihe von Linien auf dem Gestelle *C*. Hinter der zweiten Oeffnung ist ein grösseres Ecran, ähnlich dem in dem frühern Versuche beschriebenen, aufgestellt; seine Entfernung von der Linse wird durch Berechnung bestimmt. Sind die Ecrane regelrecht aufgestellt, so wird die Ansicht, welche beide Oeffnungen dem Auge des Beobachters bieten, dieselbe sein, und auch dieselbe bleiben, wenn das Auge sich entfernt. Die Linien fallen zusammen, und die Entfernungen zwischen denselben, welche durch die Oeffnung ohne Linse sichtbar sind, werden ebenso zu wachsen scheinen, wie diejenigen, welche durch die Oeffnung vermittelst der Linse gesehen werden.

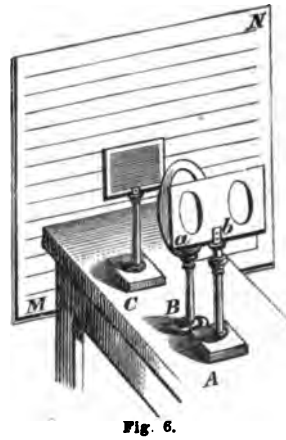


Fig. 6.

Es ist leicht zu begreifen, wesshalb ein Gegenstand, welcher durch eine Linse, oder was dasselbe ist, durch eine Oeffnung betrachtet wird, sich zu vergrössern scheint, wenn das Auge sich entfernt. Befindet sich das Auge in der Nähe der Oeffnung, hinter welcher der Gegenstand *AB* (Fig. 7) (im vorliegenden Falle das Ecran *MNPQ*) aufgestellt ist, so wird das durch die Oeffnung sichtbare Feld z. B. vierzehn Linien enthalten; entfernt sich aber das Auge, so werden in demselben Gesichtsfelde nur noch acht, fünf u. s. w. Linien sichtbar sein. Ohne sich genaue Rechenschaft über die Entfernung der Oeffnung von dem Ecrane abzugeben, schliesst der Beobachter

Digitized by Google

unwillkührlich aus der Anzahl der Linien, welche in den verschiedenen Fällen im Gesichtsfelde erscheinen, auf die Grösse ihrer Entfernung von einander; diese Entfernung scheint ihm grösser, wenn er eine

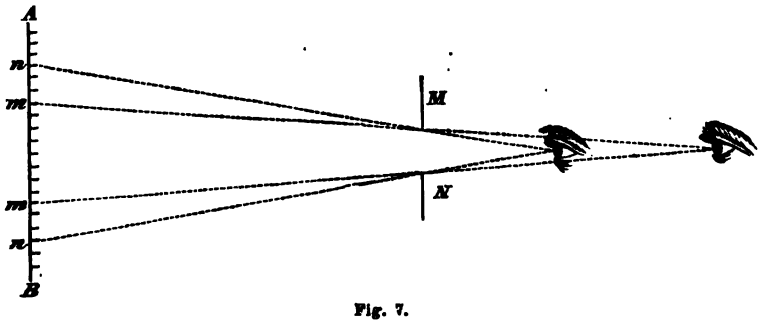


Fig. 7.

geringere Anzahl von Linien in demselben Felde erblickt. Nicht nur ein Ecran mit Linien, sondern jeder beliebige Gegenstand durch eine Oeffnung betrachtet scheint mit unserer Entfernung von denselben sich zu vergrössern, obgleich sich diese Erscheinung nicht in allen Fällen auf gleiche Weise offenbart, weil bei der Beobachtung durch eine Oeffnung sich uns mehr Gelegenheit als im Falle einer Linse darbietet, über die richtige Entfernung der Gegenstände zu urtheilen und der genannten optischen Täuschung zu entgehen.

Bemerkenswerth ist die Beobachtung, die wir an einem Buche machen. Wenn wir durch eine Oeffnung die Zeilen eines Buches betrachten, das nicht weit hinter dieser Oeffnung sich befindet, und wir von derselben uns entfernen, so erscheinen Anfangs (so lange wir noch lesen können) die Buchstaben merklich verkleinert, dann aber, wenn das Sehen undeutlich wird und wir nicht meht zu lesen im Stande sind, scheinen die Zeilen und ihre Entfernung von einander zu wachsen, ebenso wie die Linien in ihrer gegenseitigen Entfernung im Falle eines Ecrans. So lange wir noch deutlich lesen können, urtheilen wir über die Entfernung des Buches und die Grösse der Buchstaben nach der grösseren oder geringeren Schwierigkeit, die wir beim Lesen finden; ferner aber bedienen wir uns desselben Schlusses als im Falle eines Ecrans.

Die Linse, deren ich mich bei meinen Versuchen bediente, hatte eine Brennweite von ungefähr 30 Ctm. und war eine von denjenigen, die bei den Versuchen mit der electrischen Laterne von Duboscq für optische Projectionen gebraucht werden.

Digitized by Google

Magnetometer für Schulzwecke.

Von

M. Th. Edelmann,

königl. Assistent der Physik am Polytechnikum und Inhaber eines physikalisch-mechanischen Instituts in München.

(Hiezu Tafel XXII u. XXIII.)

Die folgenden Zeilen enthalten die Beschreibung eines einfachen und übersichtlich angelegten Magnetometers, wie es zur Demonstration in der Vorlesung und zur Uebung für Schüler des physikalischen Practicums am geeignetsten erscheint und zugleich den Anforderungen eines Präcisions-Instrumentes genügt.

Es besteht dieses Instrument, wie aus den Tafeln XXII u. XXIII ersichtlich ist, aus zweien für sich bestehenden Theilen, nämlich der Ablenkungsschiene, welche auf einem Bolzen und zweien Stellschrauben aufgestellt wird, und der Bussole. Letztere ruht mit ihrer in der Axe des Instrumentes nach abwärts liegenden Spitze auf der Mittelpunctsmarke der Ablenkungsschiene und mit zweien Stellschrauben auf seitwärts liegenden Holzklötzen.

Die Möglichkeit der Trennung von Bussole und Ablenkungsschiene erschien desshalb nöthig, weil unter solchen Umständen die Messung der Abstände des Ablenkungsmagnetes genauer und mit einfacheren Mitteln vorgenommen werden kann, und weil hiedurch das Ganze übersichtlicher, transportabler und billiger wird. Es kann ferner zu manchen magnetischen oder galvanischen Versuchen die Bussole für sich allein eine erwünschte Verwendung finden.

Die Aufgaben, welche mit dem vorliegenden Magnetometer gelöst werden können, sind:

1. Die Bestimmung der absoluten Declination.
2. Die Messung der Horizontal-Intensität sowohl durch Ost-West-, als Nord-Süd-Ablenkung.

Digitized by Google

3. Die Bestimmung der Variationen der Vertical-Intensität durch Induction in weichem Eisen nach der Methode von Lamont.

4. Endlich ist das Instrument geeignet, in Vorlesungen zur Demonstration jener Einrichtungen zu dienen, wie sie von Lamont für seine Variationsinstrumente verwandt werden.

Beschreibung der Mechanik.

Die Ablenkungsschiene AB (Fig. 1, 2, 5) ist ein in der Mitte ausgekröpfter Stab von Messing oder Holz, welcher auf seinen beiderseitigen Enden je einen Hohlcylinder L zum Aufsetzen der weichen Eisenstäbe CD und je drei Lager (I, II, III, Fig. 1) besitzt, in welche der Ablenkungsmagnet NS vermittelst seines conischen Zapfens eingesetzt und in zweckentsprechende Lage gedreht werden kann. Von diesen drei Lagern dienen I und III für die Ost-West- und I und II für die Nord-Süd-Ablenkung. Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, sind L, I, II, III in jeder Richtung hin verstellbar, indem die Durchmesser der Löcher, durch welche die Schrauben gehen, grösser als die Durchmesser der Schrauben sind, und Mutter und Gegenmutter ein Festhalten in beliebiger Höhe gestatten. Die conischen Zapfen K, welche oben mit Spitze versehen sind und in die Lager I, II, III passen, dienen als Visire bei der Einstellung der Ablenkungsschiene in die Ost-West- oder Nord-Süd-Richtung, und geben beim Messen der Abstände des Ablenkungsmagnets die Mittelpuncte der Lager I, II, III an. Die Ablenkungsschiene, welche in der Mitte eine Marke a (Fig. 1, 4) zur Aufnahme der Bussole hat, ist mit einer Libelle horizontal zu stellen und steht einerseits auf einem Bolzen P, anderseits auf einem Zweifusse QR mit Stellschrauben; auf der Mitte ihrer oberen Fläche ist eine Gerade gezogen, welche bei Ost-West-Ablenkung zur Einstellung des Ablenkungsmagnets dient, der gleichfalls (Fig. 2) mit einer solchen Linie versehen ist. Bei Nord-Süd-Lage dieses Magnets von der Bussole aus muss man mit Hilfe eines Ausschlagwinkels die richtige Lage desselben erzielen.

Die Stäbe CD, welche zur Bestimmung der Vertical-Intensität dienen, sind vorsichtig ausgeglühte Eisencylinder, welchen vermittelst der Stellringe S ihre vorgeschriebene Höhe über oder unter der durch den Mittelpunct M der Bussole gelegten Horizontalebene gegeben wird. Die Mittelpunctsmarken bei C und D dienen wieder zur Abstandsbestimmung.

Digitized by Google

Die über der Mittelpunctsmarke a der Ablenkungsschiene aufzustellende Spiegel-Bussole hat als Fussgestell den eigenthümlich geformten Dreifuss EFG (Fig. 5). E ist ein nach oben und unten mit Spitze versehener Zapfen, welcher den Dreifuss mit dem Spiegelgehäuse H verbindet, und um welchen sich H drehen lässt, was dann nöthig ist, wenn die den oberen und unteren Theil von H verbindende Stütze den Lichtstrahlen oder dem eingehängten Schwingungsmagneten im Wege stehen sollte. Der Körper H, über welchen eine die Luftströmungen abhaltende und mit Planglasplatte geschlossene Hülse J gesteckt werden kann, trägt nach aufwärts die Fadensuspension S, deren Einrichtung ich schon bei anderen Gelegenheiten beschrieben habe. Die Magnetnadel M (Fig. 1), welche behufs Bestimmung der Declination und der Ablesungen bei den Ablenkungsversuchen mit Spiegel versehen ist, besteht aus einem magnetischen Stahlringe, durch dessen Fläche in senkrechter Richtung gegen diese ein Spiegel gesteckt und in dieser Lage befestigt ist. Zwei (über und unter der magnetischen Axe des Magnetrings befindliche) Haken dienen zum Aufhängen der Nadel am Coconfaden.

Die beigegebenen Zeichnungen des Instruments sind in halber natürlicher Grösse ausgeführt.

Ausführung der Versuche.[1])

I. Bestimmung der Declination.

Die Bussole wird entweder allein oder auf der Ablenkungsschiene aufgestellt, wobei der untere Haken der Nadel als Senkelspitze über der Spitze des Zapfens E einzustellen ist. Durch Umkehr der Nadel werden die Fehler der magnetischen und optischen Parallaxe eliminirt, wobei auf den Spiegel, wenn die Bestimmung der Declination mit grösserer Schärfe zu geschehen hat, das Fernrohr eines Theodolits eingestellt wird, dessen Fadenkreuz beleuchtet werden kann. Sollte man ein solches Instrument indessen nicht besitzen, so hilft man sich dadurch, dass man auf die Mitte des Fernrohrobjectivs eine kleine

1) In den folgenden Zeilen ist nur das enthalten, was sich auf die Kenntniss des Instrumentes und dessen Behandlung bezieht, insoferne sie von der anderer zu demselben Zwecke dienenden Apparate abweicht. Im Uebrigen sind jene Stellen aus bekannteren Werken angegeben, welche Anleitungen zur Ausführung der hierhergehörigen Versuche und Rechnungen enthalten.

Digitized by Google

runde Papierscheibe klebt und das Fadenkreuz des Fernrohres (in grösserer Entfernung vom Magnetometer aufgestellt) mit dem Spiegelbild des Scheibchenmittelpuncts in Coincidenz bringt. Selbstverständlich muss hier das Fadenkreuz vorerst centrirt werden. Durch eine vertical unter der Mitte der Bussole anzubringende Marke wird der Stand des Instrumentes fixirt und mit Hilfe des nunmehr in Richtung des magnetischen Meridians liegenden Fernrohres ein Meridianzeichen an der Wand des Beobachtungsraumes angebracht. Zur richtigen Aufstellung der Ablenkungsschiene ist noch erforderlich, Marken anzubringen, welche eine Verticalebene bestimmen, die senkrecht zum magnetischen Meridiane liegt und durch die Marke der Instrumentenmitte geht. Das letztere kann mit Hilfe eines Winkelspiegels, eines Theodolits etc. geschehen. Nun ist es auch nicht mehr schwierig, den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem astronomischen einschliesst, zu messen, und ferner das Magnetometer für die folgenden Versuche aufzustellen.[1])

II. Bestimmung der Horizontal-Intensität.

Ablenkungsversuche.

Zunächst wird die Ablenkungsschiene entweder in der Richtung Nord-Süd oder Ost-West aufgestellt, und zwar dadurch, dass man über die in die beiden Bolzen J eingesteckten Zäpfchen K hinweg auf die Meridianzeichen einvisirt, welche man bei der Bestimmung der Declination auf die beschriebene Art sich verschafft hat. Zugleich muss man mit Hilfe einer auf die Schiene gestellten Libelle dieselbe horizontal richten. Hierauf wird die Bussole darüber gestellt und ihre Lage durch die Stellschrauben unter Berücksichtigung der als Senkel dienenden Magnetnadel corrigirt. Ist dann ein Fernrohr mit Scala gegen den Spiegel aufgestellt, so können die Versuche zur Bestimmung der Ablenkungswinkel auf bekannte Weise ausgeführt werden. Für die Ost-West-Stellung wird der Ablenkungsmagnet in die vier Bolzen I, I und III, III, bei Nord-Süd-Stellung in I, I und II, II eingesetzt. Wie dann der Ablenkungsmagnet senkrecht zur Richtung des magnetischen Meridians gedeckt wird, habe ich schon ange-

1) Ueber das Verfahren bei Declinationsbestimmung:
Kohlrausch, physik. Pract II. Aufl. 131.
Lamont, Handb. d. Erdmagnet. p. 224.
Mousson und Wüllner, Lehrbücher d. Physik.

Digitized by Google

geben; die hierher bezüglichen Entfernungen des Ablenkungsmagnets werden dadurch gemessen, dass man die Zäpfchen K in die Bolzen I, II, III einsetzt und die Entfernungen I—I, II—II, III—III mit Hilfe von Maassstab, Theilmaschine oder Kathetometer etc. bestimmt. Der Torsionscoëfficient des Coconfadens wird auf bekannte Art gemessen.

Schwingungsversuche.

Der als Magnetnadel dienende Stahlring M wird ausgehakt und an seine Stelle der Magnetstab NS eingehängt, wie es in Fig. 4 gezeigt ist. In das im Fusse EFG der Bussole befindliche Loch c wird ein Messingdraht eingesteckt, welcher mit einer um die Ecke gebogenen feinen Spitze versehen ist. Der Fuss EFG wird nun um E so weit gedreht, bis die auf dem Magnetstab NS eingerissene Linie unter dieser Spitze liegt. Sie dient bei den Schwingungsversuchen zur Wahrnehmung des Augenblicks, in welchem der schwingende Magnetstab NS seine Gleichgewichtslage passirt. Zu diesem Zwecke kann auch ein kleiner Spiegel an dem Schwingungsmagneten angebracht und die Beobachtung dann mit Fernrohr und Scala ausgeführt werden, was bei Bestimmung des Torsionscoëfficienten des Fadens jedenfalls zu geschehen hat.

Als Belastungskörper zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des Magnetstabes dient der genau gearbeitete Messingring Fig. 3, dessen Trägheitsmoment sich aus Gewicht und Dimension leicht ergibt. Nachdem das Gewicht von Magnetstab und Ring einen wenigstens aus vier einzelnen Coconfäden bestehenden Aufhängungsfaden erfordert, die Magnetnadel M aber von einem einfachen Faden getragen werden kann, empfiehlt es sich, für genauere Versuche zweierlei geeignete Fäden vorbereitet zu haben, welche je nach Bedarf eingezogen werden. Es werden desshalb an beide Enden der Fäden ∞-förmige Drahthäkchen gebunden, welche Einrichtung ein bequemes Auswechseln der Fäden ermöglicht. Diese Häkchen müssen so klein sein, dass der Faden, am Stifte x eingehängt, sammt ihnen durch das Loch der Fadensuspension, in welchem der Stift x festgeklemmt wird, hindurchgleiten kann.[1])

1) Ueber das Verfahren bei Bestimmung der absoluten Horizontal-Intensität:
Kohlrausch, physik. Pract. p. 133.
Lamont, Handb. d. Erdmagnet. p. 229.
Mousson und Wüllner, Lehrbücher d. Physik.

Digitized by Google

III. Bestimmung der Variationen der Vertical-Intensität.

Diese Messungen geschehen mit Hilfe von Induction in weichen Eisenstäben, zu welchem Zwecke die Eisenstäbe *CD* in ihre Lager eingesetzt werden. Die Durchführung dieser Bestimmungen ist beschrieben in „Lamont's Handbuch des Erdmagnetismus" p. 213 ff. und in „Mousson's Phys. auf Grundl. d. Erfahrung" I. Aufl. II. 73.

Der Preis des Magnetometers ist 80 fl. und 100 fl. bei Holz- oder Messing-Ablenkungsschiene.

München, den 20. October 1872.

Digitized by Google

Ueber die Mechanik des Dämpfers der Galvanometer.

Von

M. Th. Edelmann,

königl. Assistent der Physik am Polytechnikum und Inhaber eines physikalisch-mechanischen Instituts in München.

(Hiezu Tafel XXIV.)

Die Entdeckung des Rotationsmagnetismus durch Arago (1824) lieferte ein Mittel, die für galvanometrische Arbeiten so störenden Schwingungen der Magnetnadel aufzuheben. Die folgenden Zeilen haben nun zum Zwecke, einen kurzen Ueberblick zu geben über die Litteratur und die Art und Weise der technischen Ausführung jener Apparatentheile, welche für angedeuteten Zweck bestimmt sind, und welche man mit dem Namen „Dämpfer" belegt hat. — Diese Zusammenstellung findet darin ihre Berechtigung, dass die Dämpfer noch keine übersichtliche Behandlung erfahren haben und dass sie gerade in letzter Zeit desswegen Beachtung verdienen, weil bei Messungen vermittelst Compensation und Widerstandsbrücke bekanntermaassen nur sehr empfindliche Galvanometer (eigentlich blos Galvanoscope) gebraucht werden können, bei welchen die Nadel ausserordentlich schnell wieder in den Ruhezustand zurückkehrt. Auch ist hier die Güte der Dämpfung von wesentlichem Einflusse auf die Förderung der Arbeit.

Zur Entschuldigung über die Unvollständigkeiten und Lücken des Inhaltes möge der Erfahrungssatz dienen, dass eine erste Zusammenstellung immer Scharten enthält, welche erst im Laufe der Zeit und durch die Erfahrungen Anderer ausgewetzt werden können.

I.

Die Litteratur des Gegenstandes betreffend finden wir eine Stelle in Hessler und Pisko, Lehrbuch der technischen Physik, pag. 695, wo auf die Entdeckung Arago's hingewiesen und gesagt wird, dass

Digitized by Google

Faraday die Inductionsströme, hervorgebracht durch gegenseitige Ortsveränderung eines Magnetpoles und compacten Leiters, experimentirt habe; pag. 796 findet man: „Die rasche Abnahme der Schwingungsweiten von Magnetnadeln durch darunter[1]) befindliche Metallmassen heisst Dämpfung." Ferner: „Um die Beobachtung vermittelst Multiplicatoren schneller und verlässlicher durchzumachen, umgibt man nach Gauss und Weber (1837), später Wiedemann den Magnet mit einer Kupferhülle. Die Einwirkung der Dämpfung muss bei Messung der Stromstärke in Rechnung gezogen werden. (Formeln hierüber in Wüllner's Physik II, 1291 und Wiedemann's Galvanismus II, 734.)"

Ueber Dämpfer findet man ferner einiges in Wüllner's Physik II, 1281.

Lamont (Handbuch des Magnetismus pag. 101) heisst die hierher bezüglichen Inductionsströme „Flächenströme" und schreibt, dass diese Ströme die Bewegung der Nadel aufhalten und man diesen Umstand benütze, um die für die Beobachtung störenden[2]) Schwingungen einer Nadel aufzuheben und zwar könne man hiezu nicht blos Kupferscheiben, sondern auch Kupfermassen der verschiedensten Form benützen. Er weist jedoch darauf hin, „das Kupfer dem Magneten nicht zu nahe zu bringen, weil es nicht blos inductionsfähig sei, sondern auch einen gewissen Grad von Retentionsfähigkeit habe". (Jahresbericht der Münchener Sternwarte 1852 p. 131.) „Die Verwendung des Kupfers zur Beruhigung einer Nadel könne in der mannigfaltigsten Weise geschehen. Lloyd (Magnetical Observatory of Dubl. p. 21) habe einen massiven kupfernen Bügel gebraucht, Weber (Result. d. magn. Vereins 1838 p. 73) habe das Magnetgehäuse selbst aus Kupfer fertigen lassen, dass es zugleich als Dämpfer diene. Gauss habe sich eines Multiplicators, in welchem sich die Nadel befand, zur Dämpfung bedient." Anschliessend an dies, weist Lamont experimentell nach, dass dies die Weise sei, eine bestimmte Kupfermenge als am

1) Soll eigentlich heissen: „in der Nähe befindliche".

2) Dass man schon viel früher darauf bedacht war, die Schwingungen möglichst schnell zu beseitigen, beweist der Vorschlag Jakobi's (Pogg. Ann. XLIII, 29), unten an die Nadel ein kleines Platinblech zu setzen und dasselbe in feines Oel eintauchen zu lassen: ein Verfahren, das zuerst von Stellwag von Carion, später von Coulomb benützt wurde und auch im Thomson'schen Electrometer wieder Verwendung fand.

Digitized by Google

wirksamsten zu verwenden. Ausserdem gibt Lamont noch folgende Litteratur von Versuchen über Rotationsmagnetismus an, welche mit der Beruhigung einer Nadel durch „Flächenströme" zwar im Zusammenhange stehen, allein keinen weiteren für diese Arbeit zu verwerthenden Inhalt haben:

Seebeck, Pogg. A. VII, 203 (1826).
Babbage und Herschel, Phil. Tr. 1825, 467.
Christie, Phil. Tr. 1825, 497.
Bacelli und Nobili, Nobili Memorie I, 15.
Baumgartner, Baumg. u. Ettingsh. Zeitschrift I, 146 (1826), II, 419.
Snow-Harris, Phil. Tr. 1830, 67.

(Die letzte Abhandlung wird besprochen in Dove's Rep. d. Phys. II, 122—128.)

Die von Lamont ausgesprochenen nachtheiligen Eigenschaften des Kupfers scheinen sich übrigens nicht unter allen Umständen gezeigt zu haben, denn Faraday (dessen Arbeiten in Pogg. A., Phil. Tr., Exper. Res., Bibl. univ. de Genève, vom Jahre 1846 ab enthalten sind) hat reines Kupfer diamagnetisch gefunden. Auch hat Faraday bei Kupfer und anderen guten Leitern ein eigenthümliches Verhalten (als ob die Kupfernadel[1]) in einem dichten Mittel schwänge) bemerkt, und führt dies mit Recht auf Inductionsströme zurück. (Siehe Cavarret, Lehrbuch d. Electr., deutsch von Arendt, II, 310.) In dieser Erscheinung mag mit ein Grund liegen, warum das Kupfer als magnetisch angesehen wurde. Vielleicht war es auch eisenhaltig oder die Oberfläche oxydirt (Matteucci fand Kupferoxyd magnetisch). Den Eisengehalt des Kupfers betreffend kann derselbe entweder chemische Verunreinigung oder durch das Bearbeiten mit Stahlwerkzeugen später hineingebracht worden sein. Um das letztere zu vermeiden, empfiehlt sich nach dem Abdrehen etc. ein starkes Abschleifen mit reinem Smirgel oder Bimsstein. In Bezug auf die Reinheit des Kupfers wäre noch zu bemerken, dass man, dem Beispiele Magnus' (Pogg. Ann. 83, pap. 474) folgend, für Dämpfer nur aus gereinigter Lösung electrolytisch abgeschiedenes Metall, gegossen und dann gehörig durchgeschmiedet, verwenden soll.

1) Zwischen den Polen eines kräftigen Electromagneten.

Digitized by Google

Weitere hierher bezügliche Stellen, meist rein theoretischen Inhaltes, findet man in:

Lamont über die an der Münchener Sternwarte verwandten neuen Instrumente und Apparate, pag. 34.

Dove, Repertorium der Physik I, 298 ff.

(Theorie des Rotationsmagnetismus und einige Quellenangaben.)

W. Weber, zur Galvanometrie (aus dem X. Band der kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttigen), pag. 8; dann

Dämpfung als Maass der Empfindlichkeit des Galvanometers, pag. 21—25;

Construction des Galvanometers, pag. 27 ff.

E. du Bois-Reymond, die aperiodische Bewegung gedämpfter Magnete. Monatsberichte der kgl. Ac. d. W. zu Berlin, 1869, pag. 807—852; 1870, pag. 537—570.

Matteucci, mehre Aufsätze in Annal. d. Chem. Phys.

II.

Ueber die Gestalt der Dämpfer lässt sich fast behaupten, ass sie so vielen Variationen unterworfen sind, als es Mechaniker gibt, welche Galvanometer anfertigen. Doch sind die Unterschiede nur in jenen Formen wesentlich, die ich hier durch Scheidung in Classen auseinander gehalten habe. Die Umstände, welche die Construction am meisten beeinflussen, sind vor allem die Gestalt der zu verwendenden Magnetnadel, die Art und Weise der Anbringung der Drahtwindungen, die Befestigung des Dämpfers am Galvanometer; ferner der Umstand, ob das Galvanometer Spiegelinstrument ist oder nicht und endlich ob es stärkere oder geringere Dämpfung haben soll. Ich werde nunmehr die hauptsächlichsten Formen der Dämpfer und die Grösse ihrer Wirksamkeit eingehender beschreiben, wobei ich sie in folgende drei Gruppen trennen kann:

A. Dämpfer, bei welchen für Nadel und Kupfermasse keine direct auf einander bezügliche Form gewählt wurde.

B. Dämpfer, welche die Nadeln absichtlich möglichst eng umschliessen.

C. Verstellbare Dämpfer.

A.

Die einfachsten Dämpfer sind jene, bei welchen eine aus einem cylindrischen Stahlstabe oder aus einer oder mehren Stahllamellen

Digitized by Google

gebildete Magnetnadel von einem cylindrischen, ellyptischen oder rectangulären Kupfergehäuse umgeben wird. Hierher gehören die Dämpfer der Weber'schen Galvanometer[1]), von welchen ich eines, von Schweigger ausgeführt, theilweise in Fig. 1 abgebildet habe, des Lamont'schen[2]) und Carl'schen[3]) Galvanometers, der Gaugain'schen Tangentenbussole, wie sie von Mechaniker Schubart in Gent gefertigt werden und wo ein dicker Magnetcylinder von einer rectangulären starken Kupferhülse umgeben ist (logarithm. Decrement = 0,007483). Zu dieser Classe von Dämpfern zählt auch jene Form, welche in Fig. 2 dargestellt ist. Sie ist für telegraphische Zwecke von Weidenbach (Zeitschr. d. deutsch-österr. Telegr.-Ver. XII, 211) construirt. Ich habe sie hauptsächlich wegen der eigenthümlichen Form des Drahtreceptors hier abgebildet; vermöge dieser Einrichtung können Spiralen nach den Principen von Helmholtz, Gaugain und Neumann nach Belieben verwandt werden.

Bei allen diesen Instrumenten kommt die Nadel sehr langsam zur Ruhe, weil entweder die dämpfende Metallmasse zu klein oder zu weit von dem Sitze der magnetischen Kraft der Nadel entfernt ist, oder bei den grösseren Magnetnadeln das magnetische Moment in zu ungünstigem Verhältniss zum Trägheitsmoment der Nadel steht.

Endlich gehört hierher jene primitive Form, wo eine lineare Magnetnadel über einer zugleich die Theilung tragenden Metallplatte schwingt, z. B. Melloni's Thermomultiplicator[4]), Du Bois-Reymond's Galvanometer[5]) für electro-physiologische Untersuchungen und die z. B. in Müller's Lehrbuch der Physik abgebildeten Pouillet'schen[6]) und Gaugain'schen Tangenten- und die Sinus-Bussolen von Pouillet und Poggendorff, bei welchen die Nadel in einer Dose schwingt, deren Boden aus Kupfer oder Messing besteht. Wie man aus den mitgetheilten Resultaten der Untersuchung auf den Werth

---

1) Vollständig abgebildet in Mousson's Experimentalphysik, II, Fig. 924, und Gavarret's Lehrb. d. Electricität, deutsch von Dr. R. Arendt, Fig. 299, 300.

2) Lamont, Handb. des Magnetismus, Fig. 55.

3) Logarithm. Decrem. = 0,02077.

4) Logarithm. Decrem. = 0,3412.

5) Logarithm. Decrem. = 0,1588.

6) Logarithm. Decrem. = 0,07381. Die Instrumente, welche zu diesen vier Bestimmungen verwandt wurden, gehören dem phys. Cabinet der Münchener Universität an; die übrigen Angaben beziehen sich auf Instrumente aus dem phys. Cabinete der Münchener polyt. Schule.

Digitized by Google

des logarithmischen Decrements ersieht, kommen die Nadeln dieser Apparate genügend schnell zur Ruhe. In Bezug auf jene Instrumente übrigens, bei welchen die Nadel auf einer Spitze schwingt, kann von einer Beruhigung durch die Dämpfung allein wohl nicht gesprochen werden. Die stattfindende Reibung sorgt mitunter auf ganz beängstigende Art für den Stillstand der Nadel; ob dieser dann am rechten Orte stattfindet, ist Sache des trügerischen Schicksals, welches sich in diesem Falle selbst nicht durch das nachdrücklichste Tischklopfen mit sicherem Effect beschwören lässt.

B.

Bei dieser Classe von Dämpfern treten uns, veranlasst durch eine Einrichtung W. Weber's, bedeutende Verbesserungen entgegen. Dieser Gelehrte umgab[1]) einen magnetischen Stahlspiegel mit einer starken Kupferkugel, wodurch er die für die Wirksamkeit der Dämpfung maassgebenden Regeln: die Massen der Magnetnadel und des Dämpfers sich recht nahe zu bringen, eine im Verhältniss zum Gewichte der Magnetnadel ganz bedeutende Kupfermenge zu verwenden, der Magnetnadel selbst aber ein möglichst kleines Trägheitsmoment zu geben — in die Praxis einführte. Dieser Einrichtung ganz ähnlich ist die von Wiedemann[2]), welcher statt der Kupferkugel eine starke Kupferrolle als Dämpfer verwandte. Die Dämpfung (logarithm. Decrem. = 0,4—0,6) derartig eingerichteter Galvanometer ist ganz vorzüglich. Die Nadel kommt nach einigen Oscillationen zur Ruhe.[3])

In einer Modification des Wiedemann'schen Galvanometers, wie sie Mechaniker Sauerwald in Berlin ausgeführt und in Fig. 3 dargestellt ist, wird der Stahlspiegel durch einen Stahlring ersetzt; ein Schildpattstäbchen verbindet den Magnetring mit einem äusserst leichten, in einer dünnen Fassung sitzenden Glasspiegel so, dass beide gegen einander verdreht werden können; dadurch wird erreicht, dass man das Ablesefernrohr in jeder durch bauliche Verhältnisse vorgeschriebenan Lage gegen das Galvanometer aufstellen kann. In Bezug

---

1) Electrodyn. Maassbest. Th. I, pag. 17.

2) Wiedemann, Pogg. Ann. Bd. 89. pag. 504.

3) Ganz ähnlich ist die bezügliche Einrichtung meines Compensationsgalvanometers (Carl's Rep. Bd. VIII), logarithm. Decrem. = 0,424.

Digitized by Google

auf die Wirksamkeit steht diese Einrichtung noch höher (logarithm. Decrem. = 0,6886), als die vorhergehende. Die übrige Einrichtung ist so, dass der Dämpfer aus zweien Kupferringen A, B besteht, von welchen B derart ausgefeilt ist, dass, wenn A und B zusammengeschraubt werden, in C ein parallelepipedischer Schlitz bleibt, durch welchen hindurch und vorher durch das ebenso ausgehöhlte Befestigungsstück des Dämpfers der Magnetring in die Kupferrolle hinabgelassen werden kann.

Diese Einrichtung kann noch insoferne verbessert werden, dass man (vergleiche Edelmann's absol. Galvan. in Carl's Rep. Bd. VIII) dem Dämpfer zwei cylindrische Stützen gibt, eine von unten in eine Spitze endigend, welche bei Abstandsmessungen die Instrumentenmitte angibt, und eine hohle von oben, durch welche das Schildpattstäbchen geht. Um beide Stützen ist der Dämpfer drehbar, was zum Nachweis von Eisengehalt verwandt werden kann. In der Sauerwald'schen Einrichtung reicht der Schlitz C bis zur Mitte des Dämpfers herab, wodurch ein gutes Stück wirksamen Kupfers hinwegfällt, was durch die vorliegende Construction vermieden wird. Hier wird die Nadel so eingeführt, dass man den Magnetring vom Schildpattstäbchen abschraubt, dann das Stäbchen durch das Loch C führt und den Ring wieder anschraubt. Endlich kann man noch, statt mit den Messingkapseln DD (Fig. 4), mit massiven halbkugelig ausgehöhlten Kupferkörpern den Dämpfer schliessen, so dass sich der Magnetring in einer Kupfermasse bewegt, welche ihn kugelförmig umgibt. Dadurch wird die Dämpfung so stark (logarithm. Decr. = 1,6128), dass die Magnetnadel ihre durch die wirkenden Kräfte vorgeschriebene Lage fast ohne eine weitere Schwingung einnimmt.

Ein Galvanometer, dessen Dämpfer in die vorliegende Categorie gehört, ist das Meissner-Meyerstein'sche Electrogalvanometer.[1]) Ein ellyptisch geformter Stahlring bewegt sich in einer ebenso ausgehöhlten Kupferrolle, welche auch zugleich Drahtreceptor ist. Durch das Bestreben, die mittleren Windungen, welche freilich die wirksamsten sind, nicht zu verlieren, wurde aber eine directe Verbindung zwischen Spiegel und Magnetnadel unmöglich und desshalb die Suspension so geformt, wie sie in Fig. 5 angegeben ist; dass durch solchen Ballast die Wirkung der Dämpfung (logarithm. Decrem. = 0,05366)

1) Pogg. Ann. Bd. 114, pag. 132.

Digitized by Google

sehr herabgedrückt wird, versteht sich von selbst. Von diesem Instrumente, bildlich dargestellt in der neuesten Auflage von J. Müller's in Frb. Lehrbuch der Physik, ist die Anbringung zweier (Peclet'scher) Compensatoren zugleich theoretisch falsch.

Endlich gehört noch hierher der Dämpfer des Magnus'schen Galvanometers für Thermoströme, dargestellt in Fig. 6. Wie man hieraus sieht, ist derselbe aus Kupferplatten so zusammengesetzt, dass er in der Mitte aus einander genommen werden kann, zugleich Drahtreceptor ist und in seinem Inneren einen niedrigen cylindrischen Hohlraum birgt. Dieser Raum umschliesst die eine Nadel des astatischen Systems, während die andere ausserhalb des Dämpfers in einer cylindrisch ausgedrehten Kupferschaale sich bewegt, die eine von der Nadel aus abzulesende Kreistheilung trägt. Dem astatischen Systeme ist noch ein äusserst leichter Spiegel beigegeben. Obwohl hier für die Dämpfung möglichste Sorge getragen wurde, ist doch ihre Wirkung eine sehr mässige (logarithm. Decrem. = 0,03644), was wohl davon herkommt, dass sich die zwei entgegengesetzt magnetisirten Nadeln des astatischen Systemes in der Nähe derselben Kupfermasse bewegen, was im Dämpfer entgegengesetzt verlaufende Flächenströme erzeugt, welche sich in ihrer Existenz und Rückwirkung auf die Nadel theilweise aufheben.

C. Verstellbare Dämpfer.

Die Aufgabe der Herstellung dieser Gattung von Dämpfern wurde, so viel mir bekannt, bis vor Kurzem von Niemandem constructiv aufgenommen, obwohl sich Andeutungen ihrer Nützlichkeit stellenweise finden, z. B. bei Arago's Versuchen über den Rotationsmagnetismus, als er die Abhängigkeit der Beruhigung der Nadel von ihrer Entfernung von einer Kupferplatte experimentirte. Er hatte die Kupferplatte mit dreien Stellschrauben versehen, um sie der Nadel beliebig nähern zu können. Auch habe ich erfahren, dass Dämpfer ausgeführt wurden, die durch einzuschiebende Kupferplatten zu verstärken sind. Zu ihrer Construction führen folgende Gedanken:

1) Es kommen galvanometrische Arbeiten vor, bei welchen man sehr gut gedämpfter Magnetnadeln bedarf, wie schon am Eingange dieses Aufsatzes bemerkt ist; hingegen auch wieder solche, bei welchen so stark gedämpfte Nadeln gar nicht zu gebrauchen sind, oder wo ein gewisser Grad der Dämpfung von Vortheil erscheint, z. B. bei

Digitized by Google

der Messung durch die Zurückwerfungs- oder Multiplicationsmethode. Man war desshalb genöthigt, verschiedene Arten von Galvanometern je nach dem zu erreichenden Zwecke zu verwenden, welcher Umstand bei Benützung der verstellbaren Dämpfer ausser Betracht kommt.

2) Bei allen Dämpfern, welche man früher ausgeführt hat, liegt dann die Kupfermasse nicht mehr symmetrisch um die Magnetnadel herum, wenn die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage heraustritt. Ist nun das zu verarbeitende Kupfer, wie Magnus (Pogg. Ann. 83, pag. 474) sagt, kaum eisenfrei zu haben, oder wie Lamont an erwähnter Stelle beschreibt, an sich etwas magnetisch und inductionsfähig, so muss man zur Vermeidung dieser Missstände eben Dämpfer von solcher Form anwenden, dass bei jedem Stand der Nadel eine Verticalebene, welche durch die Nadelaxe geht, den Dämpfer in zwei congruente und zugleich symmetrisch gegen diese Ebene gelegenen Hälften schneidet, d. h. man muss als Dämpfer einen Rotationskörper verwenden, dessen Axe mit der verticalen Galvanometeraxe zusammenfällt. Ist dann das, was die magnetischen Eigenschaften des Kupfers erzeugt, gleichmässig in dessen Masse vertheilt, so schaden dieselben unter solchen Bedingungen nicht im geringsten. Dies kann man leicht durch Drehen der verstellbaren Dämpfer nachweisen, wobei der Spiegel immer denselben Theilstrich der Scala reflectiren muss. Es wäre überhaupt wegen Prüfung auf Eisengehalt zu wünschen, dass die Dämpfer stets in einer solchen Verbindung mit dem Galvanometer stehen, dass sie um ihre Verticalaxe drehbar sind.

In Rücksicht auf diese Puncte ergeben sich für lineare und ringförmige Magnetnadeln diejenigen Formen von Dämpfern, welche in den Fig. 7 und 8 dargestellt sind.

Von dem Gestelle des Galvanometers gehen, wie man sich aus der Zeichnung meines obenerwähnten Instrumentes für absolute Messung näher überzeugen kann, zwei Stützen A und B aus, welche indessen hier mit Schraubengängen versehen werden. Ueber diesen Schraubengängen sitzen als Muttern die Hälften CC der verstellbaren Dämpfer, welche, ganz aneinander geschraubt, die Bahnen der Magnetnadeln eng und vollständig umschliessen. Von dieser Stellung aus können sie aber bis zu gewissen Grenzen beliebig weit von ihnen entfernt werden, worauf dann ein beide Dämpferhälften umschliessender Messingreifen die Einflüsse der äusseren Luftbewegungen abhält. Sollen Schwingungsbeobachtungen gemacht werden, und in Folge dessen die

Digitized by Google

Nadel langsamere Schwingungen ausführen, so wird entweder das Trägheitsmoment der Nadel durch Zulegegewichte vermehrt, welche auf die Spiegelfassung aufgesetzt werden, oder die Directionskraft der Erde vermittelst des Compensators vermindert.

Die logarithmischen Decremente sind hier bei dem Dämpfer für die lineare Magnetnadel zwischen den Grenzen 0,412 und 0,00634, bei dem für die ringförmige Nadel zwischen 1,637 und 0,00431.

München, den 23. Juli 1872.

Digitized by Google

Spiegel-Galvanometer mit verstellbarem Dämpfer.

Von

M. Th. Edelmann,

königl. Assistent am Polytechnikum und Inhaber eines physikalisch-mechanischen Instituts in München.

(Hiezu Tafel XXV.)

Im Anschlusse an meinen Aufsatz über die Mechanik der Dämpfer[1]) soll im Vorliegenden ein Galvanometer beschrieben werden, das sich im Allgemeinen der Wiedemann'schen Form anreiht, an welchem aber die eine Art der verstellbaren Dämpfer, nämlich die für ringförmige Magnetnadeln, in Anwendung kommt. Die Figuren 1 und 2 Tafel XXV stellen Hauptschnitte durch Medianebenen vor.

Aus beiden Figuren ist ersichtlich, dass halbkugelige Kupferkörper DD die Magnetnadel M umgeben: in Fig. 2 möglichst eng, während in Fig. 1 die beiden Dämpferhälften weit von der Nadel abstehen. Aus Fig. 2 ergibt sich ferner, dass der Messingreif R die Nadel vor Luftzug schützt, wenn die Dämpfung vermindert wird. Die Nadel wird weiters noch von den Drahtrollen SS umschlossen, welche auf dem Fussbrette F des Apparates in Führungen verschoben werden können. Auf eben diesem Fussbrette ist ein Rahmen befestigt, der die ganze Mechanik trägt und aus den Platten P und Q, sowie den beiden Säulen TT besteht. Aus der Mitte der Platte P geht die conisch zugespitzte Schraube A hervor, auf welcher sich die untere Dämpferhälfte als Mutter verschrauben lässt; ebenso nimmt die Platte Q das Rohr B auf, welches die obere Dämpferhälfte trägt und durch welches hindurch ein Schildpattstäbchen den Magnetring mit dem Spiegel verbindet. Spiegelgehäuse, Fadensuspension und die Mechanik des Compensators (Fig. 3, 4, 5) sind ebenso eingerichtet, wie ich dies

1) Carl's Rep. Bd. VIII, pag. 357.

Digitized by Google

schon bei meinem Galvanometer für absolute Messungen (Carl's Rep. Bd. VIII. pag. 80) beschrieben habe.

Sollen mit dem Galvanometer Schwingungsbeobachtungen[1]) ausgeführt werden, so legt man in den Magnetring den Belastungskörper aus Messing (Fig. 6 in natürl. Grösse), damit die Schwingungsdauer vergrössert werde, wobei vermittelst Compensator, vorstellbarem Dämpfer und den beweglichen Drahtrollen die Beobachtung in jeder erforderlichen Weise unterstützt und das Instrument den obwaltenden Verhältnissen adaptirt werden kann.

München im November 1872.

---

1) Kohlrausch's Leitfaden der physikalischen Praxis, II. Aufl., pag. 162, 163, 175, 178.

Digitized by Google

Ueber einige Modificationen der gebräuchlichen Verfahrungsweisen für Beobachtung der Lissajous'schen akustischen Figuren.

Von

A. Torquem.

(d'Almeida Journal de Physique, Août 1872.)

Drei verschiedene Verfahrungsweisen können angewendet werden zur Beobachtung dieser Figuren, wenn man Stimmgabeln gebraucht.

A. Will man die Figuren auf einen Schirm projiciren, indem man Stimmgabeln, die mit Spiegeln versehen sind, anwendet, so begnügt man sich gewöhnlich mit einer geraden Spaltöffnung, die durch ein Büschel paralleler Strahlen erleuchtet wird; man setzt vor das Diaphragma eine achromatische Linse von 20 bis 25 Centimeter Brennweite (ein Photographenobjectiv reicht vollständig aus), dann die beiden rechtwinkelig gegeneinander gestellten Stimmgabeln, und richtet es endlich durch Verstellen der Linse so ein, dass man auf einem Schirme ein scharfes Bild der Oeffnung erhält. Bei diesem Verfahren benützt man blos den millionsten Theil, vielleicht noch weniger, vom verfügbaren Lichte und es wäre unmöglich, das Drummond'sche Licht für diese Projectionen zu verwenden.

Seit mehreren Jahren schon habe ich bei der Wiederholung dieser Versuche die Helligkeit der leuchtenden Figuren durch folgendes Verfahren beträchtlich erhöht. Ich setze zwischen die Lichtquelle und das Diaphragma eine Linse von 15 bis 20 Centimeter Brennweite (die nicht achromatisch zu sein braucht). Das Diaphragma, das ein wenig vor den Hauptbrennpunct gestellt wird, schneidet in dem convergenten Lichtkegel eine kleine Scheibe von 1 Centimeter etwa ab, in deren Mittelpunct sich die gerade Spaltöffnung von 1 bis 2 Millimeter Weite befindet; bei dieser Anordnung hat man stets vollständig weisses Licht.

Digitized by Google

Ist das Diaphragma zu nahe am Brennpuncte der Linse, so ist das durchgehende Licht blau oder roth gefärbt, je nach der Lage des Diaphragma, und die Adjustirung ist überdiess zu schwierig.

Die Anordnung der übrigen Instrumente ist absolut die gleiche; nur ist die Adjustirung etwas minutiöser. Folgendes ist die Ordnung, die zu befolgen ist:

1) die Stimmgabeln sind in der Höhe der Lichtpuncte aufzustellen;

2) das Diaphragma, das an einem eigenen Fusse angebracht ist, in der gleichen Höhe einzustellen;

3) die grösste Oeffnung zu nehmen, die Projectionslinse und die Stimmgabeln zu reguliren, so dass man ein scharfes Bild auf dem Schirm erhält;

4) die Beleuchtungslinse einzufügen;

5) die Oeffnung successive zu vermindern, während man die Stimmgabeln vorrückt, bis man auf den kleinen Spiegeln, die sie tragen, das Lichtbüschel auffängt, was leicht ist, da im Allgemeinen dieses Büschel grösser ist als der Spiegel; im Uebrigen kann man durch Verstellen der Beleuchtungslinse die Divergenz der durch die Oeffnung gehenden Strahlen vergrössern und verringern und dem durch die Projectionslinse nun parallel gemachten Lichtbüschel einen der Grösse der Spiegel gleichen Querschnitt geben.

Für die Sonne wird es gut sein, einen Heliostaten zu nehmen; man erhält so Bilder von einem Quadratmeter, die selbst dann sichtbar sind, wenn man das Experimentirzimmer nicht verdunkelt; es reicht hin, für einen Augenblick die Beleuchtungslinse wegzunehmen, um den Unterschied in der Helligkeit der Lichtfiguren zu constatiren.

Mit dem Kaleidophon von Wheatstone, bei dem die Kugel durch einen kleinen Planspiegel ersetzt ist, erhält man Kreise von mehr als 2 Meter im Durchmesser und zwar so hell, dass man in Wirklichkeit eine leuchtende Curve und nicht ein auf einem Schirm projicirtes Bild zu sehen glaubt.

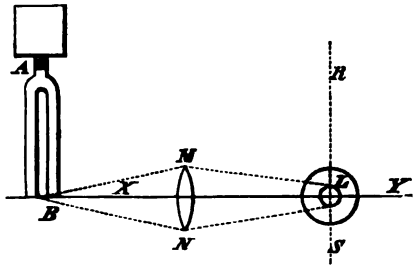
Man kann auch noch durch Annäherung des Schirmes kleinere Curven erhalten und das Drummond'sche Licht anwenden, was unmöglich wäre ohne die Linse, die den Zweck hat, das Licht auf der Oeffnung des Diaphragmas zu concentriren.

Digitized by Google

B. Um die Stimmgabeln vor der Verlesung zu reguliren, kann man, anstatt eine Lampe, die mit einem dunklen Kamine mit einer sehr kleinen Oeffnung bedeckt ist, zu nehmen, einfach am Ende eines Eisendrahtes eine kleine versilberte Perle befestigen, wie man sie im Handel ganz billig kauft. Diese Perle wird in der Höhe der Spiegel an den Stimmgabeln vor einem schwarzen Blatt Papier aufgestellt und man betrachtet in den Spiegeln die Curve, die von dem leuchtenden Puncte beschrieben wird, welcher an dieser Perle durch das Bild eines Fensters des Zimmers gebildet wird.

C. Man kann die acustischen Figuren auch mit Hilfe des Vibroscopes beobachten, wenn man durch ein an einer Stimmgabel befestigtes Objectiv und ein fixes Ocular einen leuchtenden Punct betrachtet, der unveränderlich mit der zweiten Stimmgabel verbunden ist. Es ist nicht leicht, einen sehr hellen und zugleich sehr kleinen Punct zu erhalten, wenn man etwas complicirte Figuren studiren und so lange verfolgen will, bis die Oscillationen der Stimmgabeln sehr schwach geworden sind. Helmholtz hat, um mit Hilfe des Vibroscopes die Schwingungen der Darmsaiten zu studiren, einen kleinen Theil derselben geschwärzt und ein kleines Stärkekorn daran befestigt; allein es ist schwierig, so nur einen sehr beschränkten Theil des schwingenden Körpers weiss zu machen und die Erleuchtung dieses Punctes ist immer sehr schwach.

Nach mehreren Versuchen bin ich bei der folgenden Anordnung stehen geblieben, welche absolut nichts zu wünschen übrig lässt und welche in fast allen den Fällen angewendet werden kann, wo es sich darum handelt, die Schwingungen durch das optische Verfahren zu studiren, selbst für die Gase, indem man sich dabei des Phonautographen von König bedient.



Auf die Endfläche einer der Zinken der Stimmgabel, die man mit Hilfe des Vibroscopes betrachten muss, bringt man eine ganz dünne Schicht einer Gummi- oder Dextrinlösung. Andererseits pulverisirt man Antimon und breitet mittelst eines sehr feinen Siebes ein wenig von diesem Pulver auf einem Blatte Papier aus. Man legt darauf das befeuchtete Ende der Stimmgabel und befestigt so einige

Digitized by Google

hundert Antimonkörner daran [1]). Sodann wird die Stimmgabel horizontal befestigt z. B. bei $A\,B$. Man erleuchtet das Ende B mittelst einer Lampe L und einer Linse $M\,N$, die in einer Geraden $X\,Y$ aufgestellt sind, welche senkrecht gegen die Zinken der Stimmgabel steht. Verrückt man nun die Lampe in der Geraden RS, so gelangt man zu dem Puncte, wo das Ende der Stimmgabel von sehr schief gegen die Endfläche gerichteten Strahlen erleuchtet wird. Man stellt nun vor B das Vibroscop auf, so dass die Schwingungen perpendiculär sind. Die polirte Stahlfläche B der Stimmgabel erscheint dunkel im Microscope, weil das Ocular nicht im Wege der reflectirten Strahlen steht. Von den Antimonkörnern dagegen bieten eine grosse Anzahl Facetten, die hinreichend stark geneigt sind, um die Lichtstrahlen in der Richtung der optischen Axe des Microscopes zu reflectiren, und ausserdem hat wegen der Kleinheit der reflectirenden Flächen, wie das schon Fresnel gezeigt hat, eine Zerstreuung des Lichtes nach allen Richtungen hin statt, so dass man mindestens hundert glänzende Puncte sich vom dunklen Grunde abheben sieht. Man stellt dann das Vibroscop in einer solchen Lage auf, dass sich in der Mitte des Gesichtsfeldes der leuchtende Punct befindet, welcher als der beste für die Beobachtung erscheint und erregt bald die eine, bald die andere der Stimmgabeln, so dass die leuchtenden Puncte in helle Linien übergehen, von denen man eine sehr feine und zugleich sehr helle auswählt. Man kann unter diesen Umständen die Beobachtung der akustischen Figuren mehrere Minuten lang fast bis zur absoluten Ruhe der Stimmgabeln fortsetzen, nachdem das Ohr schon lange keinen Ton mehr wahrzunehmen im Stande ist. Ich habe nach diesem Verfahren das Studium der Schwingungen der festen Körper und die absolute Bestimmung der Schwingungen unter Umständen angefangen, wo die gewöhnlichen Verfahrungsweisen nicht mehr die genügende Genauigkeit geben würden.

1) Die Idee, zu diesem Behufe Antimonpulver anzuwenden, wurde mir von Herrn Farnet, Präparator der Physik an der Faculté des Sciences zu Marseille, angegeben.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Ein electromagnetischer Rotationsapparat.

Von G. Krebs.

In den Lehrbüchern der Physik werden vielfach kleinere electromagnetische Rotationsapparate beschrieben, welche dazu dienen sollen, zu zeigen, dass man im Stande sei, Electricität in mechanische Arbeit umzusetzen. Sie bestehen meist aus einem feststehenden und einem drehbaren Hufeisenelectromagneten. An der Axe, um welche sich der letztere dreht, ist gewöhnlich ein Rad befestigt, welches in ein anderes, grösseres eingreift, an dessen Axe eine Schnur befestigt ist, welche über eine Rolle geht und an die unten ein Gewicht angehängt werden kann.[1])

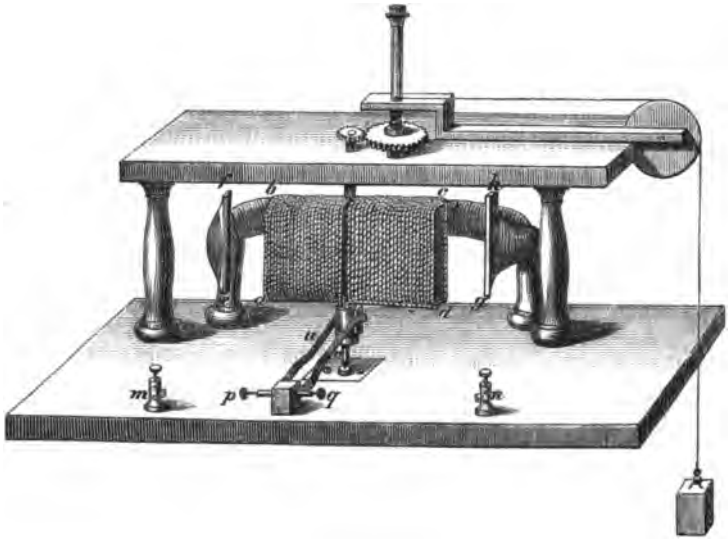
Allein diese Apparate sind unvortheilhaft construirt; die Polflächen der beiden Electromagneten sind, abgesehen davon, dass sie einander nie direct gegenüber zu stehen kommen, viel zu klein, um eine lebhafte Anziehung und Abstossung bewirken zu können; die Apparate verlangen deshalb auch einen ziemlich starken galvanischen Strom (4—6 Bunsen'sche Elemente), um nur geringe Lasten bewältigen zu können; freilich wären sie gerade deswegen wohl geeignet, um zu zeigen, dass es bei dem heutigen Stande der Wissenschaft sehr unpractisch sei, die Electricität als Motor benutzen zu wollen.

Indessen gelingt es denn doch bei weitem mehr, selbst mit kleinen Schulapparaten zu leisten, wenn man ihnen eine etwas andere Einrichtung gibt und namentlich dafür sorgt, dass die Polflächen eine hinreichende Grösse besitzen.

---

1) Frick, physik. Technik; III. Aufl. p. 520, Fig. 723.

Digitized by Google



Der kleine Rotationsapparat, welcher in Fig. 1 dargestellt ist und den ich in der Werkstätte des Herrn Prof. Carl in München habe anfertigen lassen, liefert schon bei Anwendung von zwei guten Bunsen'schen Elementen recht gute Resultate. Hier ist der bewegliche Electromagnet *abcd* eine 18 Cm. lange und 9 Cm. hohe Eisenplatte, welche in der Mitte 1/2 Cm. und an den Enden (Polen) bei *ab* und *cd* 1 Cm. dick ist. Die Eisenplatte kann sich um eine in ihrer Mitte angebrachte Axe drehen, an die oben ein gezahntes Rad und unten ein Commutator, an dem zwei lange Federn schleifen, angebracht ist.

Der feststehende Electromagnet *efgh* besteht aus einem gebogenen Eisenband, welches an den Polen *ef* und *gh* 9 Cm. hoch und 1 Cm. dick ist, von da an aber dünner und weniger hoch wird (in der Mitte 3 Cm. hoch und 1/2 Cm. dick).

Jeder der beiden Electromagnete ist mit einer Lage von dickem übersponnenem Kupferdraht umwickelt; *m* und *n* sind die Klemmschrauben für die Umwindungen des festen und *p* und *q* diejenigen für den beweglichen Electromagneten.

Schon ein einziges gutes Bunsen'sches Element, in dessen Polschrauben je zwei Poldrähte eingefügt sind und von denen das eine Paar mit *m* und *p*, das andere mit *n* und *q* verbunden werden, genügt, um den Apparat in Gang zu setzen und etwa 1/2 Kilogramm zu heben. Zwei Zinkkohlenchromsäure-Elemente leisten ungefähr dasselbe.

Digitized by Google

Bei Anwendung von zwei guten Bunsen'schen Elementen dagegen erhält man schon eine sehr rasche Rotation und kann ca. 2 Kilogramm heben.

Es ist gut, wenn die Stützen des festen Electromagneten (innerhalb geringer Grenzen) verschiebbar sind; denn wenn auch der drehbare Electromagnet im gewöhnlichen Zustand ungehindert zwischen den Polflächen des festen hindurchgeht, so wird beim Schliessen des Stromes der feste Magnet so stark nach dem beweglichen hingezogen, dass ein heftiges Anschlagen der Polflächen der beiden Etectromagnete an einander entsteht. Man muss dann die Ständer so weit zurückschieben, dass die Eisenplatte sich, ohne anzuschlagen, drehen kann.

Jedenfalls liefert der beschriebene Apparat auch in kleineren als den hier angegebenen Dimensionen hinreichend befriedigende Resultate.

Härteprüfung des magnetisirten Eisens.

Von W. Rollmann in Stralsund.

In den Comptes rendus T. 50 p. 165 findet sich eine auch in andere Zeitschriften übergegangene Notiz von Rühmkorff, welche die Härte des magnetisirten Eisens betrifft. Es wird darin behauptet, dass weiches Eisen, wenn es magnetisch ist, schwerer von der Feile angegriffen werde, also härter sei, als dasselbe Eisen in unmagnetischem Zustande. Die Sache schien mir, da wir von den molekularen Aenderungen, die im Eisen beim Magnetisiren vor sich gehen, sehr wenig wissen, einer erneuten Prüfung werth, die aber Rühmkorff's Behauptung nicht bestätigt hat. Ich zog auf einer gut abgeschliffenen Eisenplatte, die gegen den einen Pol eines starken Electromagneten gelegt war, mittelst des Diamanten, der durch einen Schlitten geführt wurde, Linien. Während des Ziehens einer Linie wurde der Strom für den Electromagneten abwechselnd hergestellt und unterbrochen, so zwar, dass die Kette etwa eine halbe Secunde geschlossen und dann ebenso lange geöffnet war. Die Linien zeigten in ihrem Verlaufe keine merkbare Verschiedenheit, wenn ein in Messingdraht gefasster Diamant angewendet wurde. Die Schreibdiamanten sind indess gewöhnlich in Eisen oder Stahl gefasst und ein solcher gibt ganz andere Resultate; die damit gezogenen Linien sind nämlich der Magnetisirung und Entmagnetisirung entsprechend abwechselnd stärker und schwächer,

Digitized by Google

was sich aus der Anziehung respective Nichtanziehung zwischen Magnet und Schreibstift erklärt. Da sich Rühmkorff zur Härteprüfung einer Feile bediente, so ersieht man leicht, wie die magnetische Anziehung ihn täuschen konnte. Die eben genannten Linien, welche in ihrem Verlaufe abwechselnd stärker und schwächer sind, werden dadurch interessant, dass sie ein anderes schon bekanntes Factum graphisch bestätigen. Die starken und schwachen Theile dieser Linien gehen nämlich ganz allmälig in einander über, weil der Magnetismus nicht plötzlich seine volle Stärke gewinnt oder verliert.

Specifisches Gewicht des Korkes.

Von W. Rollmann.

Nach Muschenbrök geben alle mir zu Gesicht gekommenen Lehrbücher das specifische Gewicht von Kork = 0.24 an. Graham-Otto's Chemie enthält sogar ein ausgerechnetes Beispiel mit diesem Endresultate. Die Zahl ist aber nicht richtig. Ich fand bei möglichst tadellosen Korken die Zahlen 0.12, 0.15, 0.18 und 0.195.

Das Spiegelgalvanometer.

Vom Herausgeber.

(Hiezu Tafel XX und XXI.)

Bereits im dritten Bande des Repertoriums (p. 15) habe ich die Einrichtung besprochen, welche ich damals dem Spiegelgalvanometer gegeben habe. Ich hatte dieser Beschreibung eine Figur beigegeben, die nach einer Photographie ausgeführt wurde und deshalb nicht in allen Details die nöthige Deutlichkeit besitzt.

Da im Laufe der Zeit einige Aenderungen am Apparate vorgenommen wurden und um mehreren mir bekannt gewordenen Missverständnissen vorzubeugen, habe ich einige genauere Zeichnungen des Galvanometers ausführen lassen, welche auf den Tafeln XX u. XXI dargestellt sind.

Fig. 1 zeigt das Instrument im Grundrisse, Fig. 2 im Aufrisse, bei sämmtlichen Figuren sind dieselben Theile mit den gleichen Buchstaben bezeichnet.

Digitized by Google

Das Instrument besteht aus dem eigentlichen Galvanometer und der Ablesevorrichtung, welche beide auf dem gemeinsamen Brette *A* befestigt sind. Das Galvanometer ist im Wesentlichen die Wiedemann'sche Bussole, die Ablesevorrichtung ist dieselbe, wie sie Lamont bei seinen magnetischen Instrumenten in Anwendung gebracht hat.

Auf einer starken Messingplatte *M* befindet sich in der Mitte der ringförmige Dämpfer *D* aus starkem Rothmetall, auf welchen das Spiegelgehäuse *H* mit dem Fadenrohre *F* aufgesetzt ist.

An einem Coconfaden hängt der Spiegel im Gehäuse *H*, die Fassung des Spiegels läuft unten in einen mit einem Schraubengewinde versehenen Stift aus, der in den Dämpfer *D* hinabreicht und zwischen zwei Schraubenmütterchen den kleinen Magnetstab *m* trägt. (Fig. 2). Der Dämpfer *D* ist auf beiden Seiten durch Glasplatten geschlossen.

Auf der Platte *M* sind zwei Leisten *L* und *L'* aufgeschraubt, zwischen denen sich die Schieber *S*, *S* bewegen lassen. Auf letzteren können die Galvanometerrollen *R*, *R* aufgesetzt werden. Jedem Instrumente sind drei Paar Multiplicatorrollen beigegeben: ein Paar hat blos eine einzige Windung (für absolute Messungen), das zweite Paar trägt wenige Windungen starken Drahtes (für Thermoströme), das dritte Paar besitzt sehr viele Windungen feinen Drahtes (für Hydroströme). Die Anzahl der Windungen ist auf jeder Galvanometerrolle aufgeschlagen. Die eine der Messingleisten *L* trägt eine Millimetertheilung, deren Nullpunct in der Mitte sich befindet. Die Kanten der Schieber *S*, *S* gestatten eine hinreichend genaue Ablesung. Sind die Schieber *S*, *S* ganz zusammengeschoben, so umgeben die Galvanometerrollen den Dämpfer, die Schieberkanten berühren sich im Nullpuncte der Theilung. Am anderen Ende des Bodenbrettes *A* ist die Ablesevorrichtung aufgesetzt.

Das Fernrohr *O* ist in einen Lagerständer *N* so eingesetzt, dass eine seitliche Bewegung der Axe *B* nicht möglich ist. Vermittelst der Schraube *C* kann die Neigung des Fernrohres geändert werden; die Schraubenmutter *G* ermöglicht eine Drehung des Lagerständers *N* und damit der optischen Achse des Fernrohres.

Vor den Fernrohren sind die beiden Scalenhalter *I*, *I* befestigt, welche zwischen zwei federnden Klammern *K*, *K* die Scala *P* tragen; die Klammern *K*, *K* sind der Höhe nach verstellbar und können durch die Muttern *Q*, *Q* festgestellt werden. Man kann auf solche Weise der Scala die richtige Höhe in jedem Falle ertheilen. Die Scala ist auf

Digitized by Google

Glas aufgetragen und muss deshalb durch einen Spiegel T erleuchtet werden. Die Fassung dieses Spiegels ist an einem Messingstabe so angebracht, dass der Spiegel nach allen Richtungen bewegt werden kann, was erforderlich ist, um das Licht vom Himmelsgewölbe durch die Scala hindurch nach dem Magnetspiegel senden zu können. Das Spiegelgehäuse H ist deshalb durch ein Planparallelglas geschlossen.

Das ganze Instrument ist auf einem Dreifuss V aufgesetzt und kann mittelst der Mutter W gegen denselben fest angezogen werden, nachdem es in den magnetischen Meridian eingestellt wurde.

Bei den früheren Instrumenten waren die Galvanometerrollen, sowie der Schlitten aus Holz verfertigt; für genaue Messungen war es nöthig, dieselben aus Messing herzustellen. Eine micrometrische Einstellung der Distanz ist keineswegs nöthig, da andere beträchtlichere Fehlerquellen vorhanden sind.

Der Umstand, dass das Bodenbrett A aus Holz besteht, ist ohne alle Bedeutung, da jeder Beobachter ohnehin vor jeder Messung seinen Nullpunct an der Scala bestimmen wird. Die Entfernung des Magnetspiegels von der Scala beträgt 570^{mm}, so dass ein Theilstrich einem Winkelwerth von $3'$ entspricht. Man hat diese kurze Distanz getadelt, weil der Beobachter zu nahe an dem Magneten sich befände; es scheint mir übrigens keine besondere Arbeit zu sein, einen grossen Hausschlüssel bei Seite zu legen, wenn es sich um eine wissenschaftliche Messung handelt.

Ueber Schichtungen in schwingenden Flüssigkeiten.

Von Stefan.

Herr Stefan macht der Wiener Academie (Academ. Anzeiger, 1872, Nr. XV) Mittheilung über einen Versuch, welcher zur Erklärung der von Kundt entdeckten Staubschichten in tönenden Luftsäulen und wohl auch zur Erklärung der Schichtungen des electrischen Lichtes führt. Der Versuch ist folgender: Füllt man eine horizontale Glasröhre, deren Enden vertical aufwärts gebogen sind, mit Wasser, welchem Eisenrost beigemengt ist, und bringt das Wasser in nach raschem Tact sich wiederholende Schwankungen, so theilt sich der Eisenrost in Schichten oder Rippen quer zur Röhrenaxe, deren Abstände von einander um so grösser sind, je grösser die Excursionen

Digitized by Google

der Wassertheilchen. Die Ursache dieser Schichtungen liegt darin, dass einige Pulvertheilchen vom Wasser leichter nach der einen Seite mitgerissen werden als nach der anderen, was durch die ungleiche Beschaffenheit der Oberfläche der Theilchen bedingt wird. Dasselbe ist auch bei den Kundt'schen Schichten der Fall und auch in den Geissler'schen Röhren, in welchen die glühenden Gastheilchen die Rolle der Pulvertheilchen spielen.

Handl. Ueber den Zustand gesättigter und übersättigter Lösungen.

Die Löslichkeitsgrenze eines Körpers in einer Flüssigkeit ist nicht durch die specifische Capacität desselben, sondern dadurch bedingt, dass, ähnlich wie in einem mit Dampf gesättigten Raume, ein Gleichgewichtszustand zwischen den fortwährend neu aufgelösten und wieder auskrystallisirenden Mengen des gelösten Körpers eintritt. Dasselbe findet bei der Sättigung einer Flüssigkeit mit einem absorbirten Gase statt. In Uebereinstimmung mit dieser Ansicht tritt Uebersättigung immer nur nach einer Verminderung der Löslichkeit auf, und wird das Fehlen einer Löslichkeitsgrenze bei Colloidsubstanzen erklärt.

(Wiener Academ. Anzeiger, 1872, Nr. XIX.)

Errata in Dr. Meyer's „Acustische Versuche etc."

Dr. Carl's Repertorium, VIII. Band 2. Heft.

Die Leser des Repertoriums werden gebeten, Folgendes an Statt des zweiten Paragraphs in „Zahlenverhältnisse der Versuche und analoge Facta bei den Lichterscheinungen" zu setzen.

Betrachten wir nun die analogen Lichterscheinungen. Nehmen wir Gabel 1 mit 256 Schwingungen die Secunde zu 508,730,000,000,000 an; dies ist die Schwingungszahl des Strahls D_1 des Spectrums, wenn wir die Geschwindigkeit des Lichts zu 300,000 Kilometer die Secunde annehmen. Sodann wird Gabel 3 504,750,000,000,000 Schwingungen die Secunde repräsentiren. Dies ergiebt eine Wellenlänge 0,0000048 Millimeter länger als die von D_1 und stimmt mit einem Strahl überein, welcher achtmal den Raum zwischen D_1 und D_2 gegen das rothe Ende des Spectrums zu von D_1 entfernt wäre. Wir haben gesehen,

Digitized by Google

dass Gabel Nr. 3 mit 254 Schwingungen sich dem Ohr mit einer Geschwindigkeit von 8,734 Fuss nähern musste, um die Note hervorzubringen, welche ein stillstehender Körper mit 256 Schwingungen abgibt; ebenso muss ein Stern, dessen Strahl 504,750,000,000 Schwingungen macht, sich dem Auge mit einer Schnelligkeit von 2442 Kilometer oder 1517 Meilen in der Secunde nähern, damit die Farbe desselben derjenigen des Strahls D_1 einer stillstehenden Sodaflamme gleich sei.

Beiträge für die Anwendung des Spectroscops.

(Astron. Nachrichten N. 1910.)

Es möchte nicht überflüssig sein, eine Hülfseinrichtung an einem Spectroscop à vision directe mitzutheilen, die zur vollständigen Absuchung und Beobachtung der Protuberanzen um den Sonnenrand als bequem sich herausgestellt hat. Von Zöllner sind bereits zwei Constructionen in Vorschlag gebracht worden, entweder dem ganzen Fernrhor excentrische Führung zu geben, oder ein Reversionsprisma einzuschalten. Bei letzterem Verfahren entspricht dann eine halbe Drehung des Prismas dem ganzen Sonnenumgange.

Anfangs hatte ich die Absicht, nahe dem Brennpunct des Fernrohres zwei zur Gesichtslinie unter 45° Neigung einander zu und parallel gekehrte Spiegelchen anzubringen, von denen das eine in der Mitte nach dem Spalt des Spectroscops, das andere im Abstande des Sonnenhalbmessers nach dem Objective zu gerichtet ist. Durch Drehung eines diese Spiegel enthaltenden Ringes erhält man so die Parthien um den Sonnenrand nach einander zur Anschauung. Doch zog ich der leichteren Berichtigung wegen folgende Einrichtung um so lieber vor, als hier kein Lichtverlust stattfindet.

Zwischen dem Fernrohr und Spectroscop ist ein rohrförmiges Stück mit peripherischer Theilung eingeschaltet, in welchem ein Ring sich herumdrehen lässt. Der drehbare Ring ist durch eine Platte verschlossen, die in Form eines Schiebers durch eine Schraube radiell sich verstellen lässt und in der excentrisch, dem Sonnenhalbmesser entsprechend, das Spectroscop eingeschraubt wird. Auf der Kreistheilung des letzteren ist der Drehungswinkel des Spaltes, auf ersterer der Positionswinkel der Protuberanz abzulesen. Der Druck des langen und schweren Spectroscops beim Herumführen um den Sonnenrand

Digitized by Google

macht eine Aequilibrirung nöthig, welche der Art hergestellt ist, dass ein am Fernrohr befestigter, gebogener drehbarer Arm durch ein über eine Rolle laufendes Gegengewicht die Balance bewirkt. Eine Regulirung, entsprechend der Zenithdistanz des Rohres, ist durch Veränderung des Gewichtes oder besser durch Verschiebung der Angriffsstelle der Schnur möglich.

Die genaue Berichtigung der Excentricität mache ich der leichteren Orientirung wegen folgender Art. Unser Spectral-Apparat von Merz enthält zwei Prismensysteme von je 5 Prismen, die nahezu gleicher Wirkung sind. Ich drehe das eine Prismensystem um 180°, so dass die Dispersion aufgehoben wird, und der Spalt und die Sonne mit ihren Flecken in wirklicher Form zu sehen sind. Der Spalt wird durch Drehung des Spectroscops senkrecht zur Richtung der Schieber-Schraube gestellt und der ganze Apparat mit dem Schieber so weit gedreht, dass der betreffende Rand der Sonne bei ihrer täglichen Passage immer den Spalt berührt. Die Zuhilfenahme der Schlüssel des parallactischen Apparates wird hierbei ebenfalls nothwendig sein. Indem man nun den ganzen Apparat um 180° dreht, sieht man zu, ob der andere Rand auch den Spalt berührt, und durch Benutzung der Schieber-Schraube halbirt man die Abweichung, welche bei öfterer Wiederholung der angegebenen Manipulation ganz fortgeschafft werden kann. Wenn die Spalterweiterung wie beim Apparat von Merz symmetrisch zur Mitte vor sich geht, so ist hierauf bei Feststellung der gewünschten Excentricität Rücksicht zu nehmen. Für den Fall, in welchem der Spalt nicht tangentiell sondern radiell herumgeführt werden soll, ist die engere oder weitere Oeffnung des Spaltes auf die Aenderung der Excentricität ohne Einfluss. Will man beide Beobachtungsarten combiniren, so dürfte es zweckmässig sein, die Spaltlänge durch Verdeckung auf die Hälfte zu reduciren. Uebrigens würde es sich empfehlen, die Drehung um den Rand durch ein Trieb zu besorgen, welches in das mit Gezähne umgebene Zwischenstück eingreift.

Wollte man den Apparat zur Photographie passend machen, so ist das Ocular des zweiten Collimators zu entfernen und statt desselben ein zweiter Spalt einzuführen, der auf eine der bekannten Linien, worin die Protuberanzen leuchten, gerichtet wird. Vor diesem befindet sich die empfindliche Platte der Camera obscura, welche vermittelst eines Armes an das Fernrohr selbst befestigt ist. Das Fernrohr folgt der täglichen Bewegung durch sein Uhrwerk nach, wäh-

Digitized by Google

rend ein dem Triebe des Spectroscops zugefügtes Uhrwerk in der dem Zwecke entsprechend stellbaren Geschwindigkeit continuirlich die Vorführung der Protuberanzen um den Sonnenrand besorgt. Sollte es nöthig werden, die Exposition länger währen zu lassen als die Zeit, während welcher man auf eine gleichmässige Bewegung des Aequatorialtriebwerkes Verlass hätte, so würde es sich empfehlen, durch das Sucherfernrohr oder an Stelle dessen besser durch ein anderes von grösserer Brennweite (die Objectivöffnung desselben kann ja klein bleiben), welches auf einen willkürlichen Punct der Sonne scharf eingestellt wird, öfter zu controliren, ob die Mitbewegung richtig erfolgt, andererseits durch die Schlüssel zu rectificiren. Uebrigens wird der Ersatz des kleinen Suchers durch ein grösseres Rohr der Haltung des Auges bequemer sein, da das Spectroscop jenen so weit überragt. Natürlich muss der Apparat für diesen Zweck durchaus stabil sein.

Gelegentlich mache ich noch die Mittheilung, dass der Apparat à vision directe mit zwei Systemen geeignet ist, die Dispersion continuirlich zu variiren von dem höchst möglichen Betrag bis auf einen verschwindend kleinen. Man verdreht nämlich das eine System gegen das andere und bringt den Spalt in diejenige Zwischenstellung, wo die Fraunhofer'schen Linien wieder senkrecht zum Spectrum sich richten. Nach dem Parallelogramm der Kräfte kann die Resultante beider Dispersionen für jede beliebige Verschiebung construirt werden. Wird die Dispersion des einen Systems durch a' bezeichnet, der Winkel, den der Spalt mit der Richtung des Spectrums im bestimmten Sinne bildet durch α' (von 0^0 bis 360^0 herumgezählt), und heissen die betreffenden Grössen für das zweite System a'' und α'', so ist die Wirkung der Dispersion aus beiden zusammengesetzt:

$$a' \sin \alpha' + a'' \sin \alpha''.$$

Sind die Dispersionen beider Systeme gleich gross, so stellt sich die auf dem Spalte senkrecht gedachte Linie immer in die Halbirungslinie des Winkels, den beide Dispersionsrichtungen bilden, und die resultirende Dispersion ist zwischen den Grenzen 0 und $2a$ enthalten, wo a die Dispersion jedes Systems bezeichnet. Mit Abnahme der Dispersion nimmt die Helligkeit zu, und umgekehrt. Es gelingt durch eine Drehung allein die Modification der Dispersion an einem Apparat, der zwei Prismensysteme mit ganz gleicher Dispersion enthält, herbei-

Digitized by Google

zuführen, wenn folgende Einrichtung getroffen wird. Von dem Spaltrohr geht ein fester Träger zu der Stelle hin, wo die Systemfassungen zusammenkommen, und enthält ein conisch geformtes Trieb, welches zwischen den ebenfalls conisch hergestellten Gezähnen der beiden Systemfassungen eingeschaltet, durch Drehung, die eine nach rechts, die andere nach links um gleiche Quantitäten verschieben muss. Soll das dem Ocularcollimator beigegebene Micrometer seine Stellung gegen den Spalt nicht verändern, so hat man jenen Träger des Triebes noch an diesen Collimator festzumachen. Die in Vorstehendem gegebene Methode ist somit eine Lösung der Aufgabe, ein Prisma mit veränderlichem Winkel herzustellen.

Danzig, im October 1862.

E. Kayser.

Verdunstungsmesser.

Von Prettner.

Herr Director Prettner spricht sich über seinen Verdunstungsmesser in einem (in der österreichischen Zeitschrift für Meteorologie veröffentlichten) Schreiben folgendermaassen aus:

Sie haben unlängst meiner bei Verdunstungsmessungen Erwähnung gethan; ich hatte und habe noch in Absicht, solche Beobachtungen in höheren Lagen anstellen zu lassen und zu dem Zwecke den Apparat so ausgedacht, dass ihn jeder Klempner herstellen kann; ich selbst beobachte daran und erlaube mir darüber Mittheilungen zu machen.

Er besteht nur aus einem Zinkgefäss, das genau die Form und Oberfläche des ombrometrischen Auffangsgefässes, aber einen flacheren Boden, nur 2 Zoll Randhöhe und unten einen zuschliessenden Hahn hat. An einer passenden Stelle wird eine feine Nähnadel so angebracht, dass sie die Oberfläche des eingegossenen Wassers so berührt, wie im Fortinschen Barometer die Quecksilberfläche. So wird das Gefäss neben dem Regenmesser befestigt und der Verdunstung ausgesetzt. Am nächsten Tage misst man die Verdunstung dadurch, dass man aus der bis zur höchsten Marke gefüllten Messröhre des Regenmessers so lange in sehr dünnem Strahle Wasser zugiesst, bis die Nadelspitze wieder die Oberfläche tangirt. Es geht dies sehr gut und lässt sich recht scharf beobachten; schlimmsten Falls wird der Fehler

Digitized by Google

eines Tages durch den des nächsten ausgeglichen. Hat es geregnet, so lässt man früher die im Regenmesser gefundene Wassermenge durch den unteren Hahn in die Messröhren laufen.

Der Apparat hat den Vorzug der Einfachheit und Billigkeit, er setzt nur die genau calibrirte Messröhre voraus und kann somit bei jedem Regenmesser angebracht werden. Die Einwendung, dass die Beobachtung des Tangirens schwer genau zu machen sei, hat die Erfahrung ganz widerlegt; viel genauer ist sie, als auf einem nach Art des Prestel'schen construirten, an dem mir der Hagel ausserdem die cubicirte Röhre zertrümmerte, und diese Gefahr findet bei jedem Glasrohre statt. Jedenfalls kommen alle anderen Verdunstungsmesser theurer zu stehen, sind viel complicirter (selbst der Lamont'sche, der mir eben der zweckmässigste scheint), und sind schwieriger zu beobachten.

Im Pariser Bulletin wurde unlängst eine recht gute Idee eines Verdunstungsmessers mitgetheilt, bezüglich welcher ich nur das Bedenken habe, dass die Verdunstung nicht an einer Wasser-, sondern befeuchteten Fliesspapierfläche geschieht und gemessen wird, höchst wahrscheinlich aber jedes Papier, ja jeder Bogen andere Oberfläche, also andere Verdunstung hat.

Ein Stabilitätsapparat.

Von Anton Steinhauser, k. k. Professor in Wien.

(Aus der „Realschule" 1872 vom Herrn Verfasser mitgetheilt.)

Die Bedingungen, von denen die Grösse einer horizontal wirkenden Kraft (H), welche einen Körper um eine seiner Kanten umwerfen soll, abhängt, sind bekanntlich durch die Formel $H = \frac{G \cdot E}{D}$ ausgedrückt, bei welcher G das Gewicht des Körpers, E die Entfernung der Falllinie von der Umdrehungskante und D die Höhe des Angriffspunctes der Kraft über der Grundfläche bedeuten.

Aus dieser Formel ergeben sich die Gesetze der Stabilität, welche mit Hilfe eines Apparates experimentell nachweisbar sein sollen.

Da jedoch die mir bis jetzt bekannt gewordenen Stabilitätsapparate die Nachweisung dieser Gesetze nur in mehr oder weniger beschränktem Maasse zulassen, so erlaube ich mir hiermit die Beschrei-

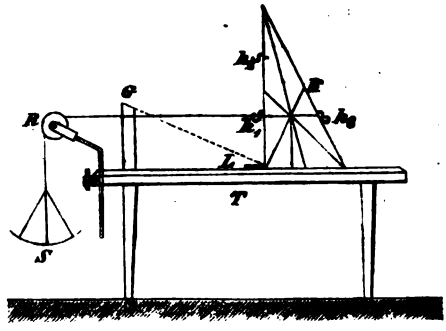
Digitized by Google

bung eines von mir construirten Apparates zu geben, der den genannten Anforderungen genügen dürfte.

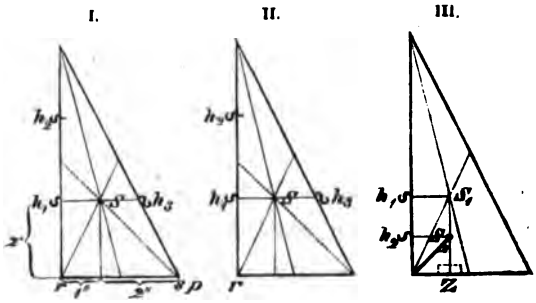
Ich finde mich hierzu um so mehr veranlasst, als dieser durch den hiesigen Mechaniker Herrn Josef Eiss (Mariahilf, Stumpergasse Nr. 10) nach meiner Angabe verfertigte Apparat von demselben bei der gelegentlich des vorjährigen Lehrertages zu Linz veranstalteten Lehrmittelausstellung ausgestellt wurde und seitdem schon einige Verbreitung gefunden hat.

Die nachfolgende Beschreibung hat sowohl den Zweck, diesen Apparat im Allgemeinen bekannter zu machen, als auch den Besitzern desselben anzudeuten, wie derselbe möglichst vielseitig ausgenützt werden könne.

Wie sämmtliche Stabilitätsapparate, besteht auch dieser (siehe nebenstehende Figur) aus einem Tischchen T mit einer daran befestigten Leiste L als Umdrehungskante und einer in verticaler Richtung verschiebbaren Rolle R zur Aufnahme einer Seidenschnur, welche einerseits an dem Häkchen h des umzuwerfenden Körpers K befestiget wird, anderseits die Messingschale S trägt, welche das das Umwerfen bewirkende Gewicht aufnehmen soll.



Umgeworfen werden nun abwechslungsweise drei congruente Körper I, II, III, welche die Form eines $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll dicken, rechtwinkeligen Dreieckes besitzen, dessen Höhe 6 und Grundlinie 3 Zoll beträgt. Auf der Dreiecksfläche dieser Körper sind die Schwerlinien eingeritzt, durch deren Schnitt die Lage des Schwerpunctes S bestimmt wird, derselbe liegt bei den angenommenen Körperdimensionen gerade 2 Zoll über der Grundfläche, seine Falllinie trifft die Grundfläche 1 Zoll weit von der Ecke r des rechten, 2 Zoll von der des spitzen Winkels sp.



Digitized by Google

Der Körper I ist aus leichtem (Linden-) Holze, der zweite (II) aus schwererem (Weissbuchen-) Holze angefertiget. Es unterscheiden sich diese zwei Körper daher nur durch das Gewicht.

Der Körper III ist wieder aus leichtem Holze gefertiget, nur ist bei selbem unter dem durch Construction gefundenen Schwerpuncte S_1 ein Bleicylinder z eingefügt, welcher einerseits den Schwerpunct nach S_2 herabzieht, anderseits das Gewicht dieses Körpers genau auf jenes von II bringt, so zwar, dass sich die Körper II und III nur durch die Höhe des Schwerpunctes über der Grundfläche unterscheiden.

Jedes Gesetz der Stabilität wird durch je zwei aufeinanderfolgende Versuche bestimmt, welche sich nur in einem Puncte unterscheiden, so zwar, dass die Verschiedenheit der Resultate nur aus der Verschiedenheit der Umstände in diesem einen Puncte gefolgert werden kann.

Aus der Eingangs erwähnten Formel ergibt sich, dass ein Körper dem Umwerfen um eine seiner Kanten einen um so grösseren Widerstand entgegengesetzt:

1) je grösser das Gewicht des Körpers,
2) je weiter die Falllinie von der Umdrehungskante entfernt ist,
3) je tiefer die angreifende Kraft wirkt.

Um den ersten Punct nachzuweisen, lasse man durch die nöthigen Gewichte (P_1, P_2) in aufeinanderfolgenden Versuchen die Körper I und II und die am rechten Winkel liegende Kante r umwerfen, wobei in beiden Fällen die Kraft in gleicher Höhe (in h_1) wirken gelassen wird.

Da diese beiden Versuche sich einzig und allein nur dadurch unterscheiden, dass der Körper II gewichtiger als I ist, so kann die Verschiedenheit der in beiden Fällen erhaltenen Resultate ($P_1 < P_2$) nur eine Folge hiervon sein.

Zum Nachweise des Punctes 2 lasse man durch wieder in gleicher Höhe (bezüglich in h_1 und h_3) wirkende Kräfte (Q_1, Q_2) den Körper I einmal um die Kante r beim rechten, das andere Mal um jene sp beim spitzen Winkel umwerfen, wobei das erstere schon beim vorhergegangenen Falle geschah und jetzt unterbleiben kann, wenn das früher gefundene Gewicht notirt wurde.

Digitized by Google

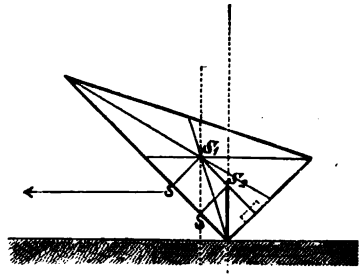
Da sich nun diese beiden Fälle wieder nur dadurch unterscheiden, dass im ersteren die Falllinie einen Zoll, im letzteren zwei Zoll von der Umdrehungskante entfernt ist, so kann die Verschiedenheit der beiden Resultate $\left(Q_1 = \frac{Q_2}{2}\right)$ hier nur auf Rechnung dieses Umstandes gesetzt werden.

Der dritte Fall wird nachgewiesen, indem man den Körper I um die am rechten Winkel liegende Kante r zweimal umwirft und zwar das erste Mal (wie bei den vorigen Versuchen), indem man die Kraft in der Höhe von zwei Zoll (in h_1), das zweite Mal in der Höhe von vier Zoll (in h_2) wirken lässt.

Da in diesen beiden Fällen nur die Höhe des Angriffspunctes verschieden ist, so kann die Ursache der verschiedenen Resultate ($R_1 = 2R_2$) nur hierin gesucht werden.

Wirft man die Körper II und III durch in gleicher Höhe (in h_1) wirkende Kräfte um, so sieht man, dass gleiche Gewichte hierzu nöthig sind, was beweist, dass die Höhe des Schwerpunctes auf die zum Umwerfen nöthige constante Kraft keinen Einfluss ausübt, was sich aus der Formel ebenfalls ergibt, da diese die Schwerpunctshöhe nicht enthält.

Dass jedoch ein Körper von tieferem Schwerpuncte einer momentanen Kraft, einem Stosse gegenüber stabiler ist, ergibt sich aus folgendem Versuch: Bringt man nämlich (siehe nebenstehende Figur) durch langsames Anziehen an der Schnur (anstatt des Auflegens eines Gewichtes auf die Wagschale) den Körper III in immer grössere Neigung (wobei die Kante am rechten Winkel die Drehaxe bildet), so sieht man, dass der Schwerpunct der Holzmasse ohne Bleicylinder (d. i. S_1 der höher liegende, durch den Schnitt der eingerissenen Schwerlinien bestimmte) früher über die Umdrehungskante gelangt, als der durch die Bleimasse vertical herabgezogene S_2, in Folge dessen im ersteren Falle das Umkippen bei einer geringeren Neigung stattfände als im letzteren.



Wird daher ein Körper durch einen Stoss (wie z. B. ein Schiff durch Sturm) in eine schwankende Bewegung versetzt, so findet das

Digitized by Google

Umschlagen um so weniger leicht statt, je tiefer der Schwerpunct liegt. Es ist sonach durch diesen letzten Versuch auch der Einfluss, den die Tiefe des Schwerpunctes auf die Stabilität eines Körpers ausübt, gezeigt.

Im Schwerpuncte S_2, der Dreiecksfläche des Körpers, ist ein kleines Pendel eingehängt, welches sich bei jeder Neigung des Körpers vertical stellt. Dasselbe dient dazu, den Moment anzuzeigen, in welchem bei der Neigung des Körpers sein Schwerpunct senkrecht über die Drehkante gelangt.

Am Tischchen des Apparates findet sich noch eine hölzerne Gabel G, auf welche die umfallenden Körper aufschlagen.

Da zum umwerfenden Gewichte auch das Schalengewicht gerechnet werden muss, so ist es zweckmässig, das Gewicht derselben leicht ausdrückbar zu machen, wie z. B. eine Anzahl Gramme.

Digitized by Google

Register.

Die Zahlenangaben bedeuten Seitenzahlen.

Acustische Versuche, von Mayer 128.

Apparat zur Demonstration eines Gefrierverzugs beim Wasser, von Krebs 194.

Batterie, galvanische, von Gaiffe 243.

Beetz's Federcontact 317.

Blitzableiter, Apparat zur Demonstration der Wirkungsweise desselben. Von Krumme 48.

Bourbouze, Verticales Wagbalken-Galvanometer 242.

Brechung des Lichtes, Ueber den Einfluss der Wärme auf dieselbe in festen Körpern, von Stefan 97.

Carl, Bequeme Einrichtung schwimmender galvanischer Ströme 49.

Carl, Dynamoëlectrische Maschine für Vorlesungszwecke 51.

Carl's Spiegelgalvanometer 376.

Cazin & Lucas, Das Chronoscop für electrische Funken 325.

Chronoscop für electrische Funken, von Lucas & Cazin 325.

Collector für Reibungs-Electrisirmaschinen, von Emsmann 63.

Compensationsgalvanometer für Messungen nach absolutem Maasse, von Edelmann 26.

Dämpfer der Galvanometer, Ueber die Mechanik derselben, von Edelmann 357.

Diffusion der Gase, Ueber die dynamische Theorie derselben, von Stefan 126.

Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen, von v. Lang 20.

Dynamoëlectrische Maschine für Vorlesungszwecke 51.

Edelmann, Compensationsgalvanometer für Messungen nach absolutem Maasse 26.

Edelmann, Galvanometer für absolutes magnetisches Maass 80.

Edelmann, Fuss zur festen Aufstellung von Instrumenten 95.

Edelmann, Magnetometer für Schulzwecke 351.

Edelmann, Ueber die Mechanik des Dämpfers der Galvanometer 357.

Edelmann, Spiegel-Galvanometer mit verstellbarem Dämpfer 367.

Electricität, Ein Versuch zum Beweise, dass die Electricität sich auf der Oberfläche der Körper aufhält, von Terquem 59.

Electricität, Verschiedene Versuche über dieselbe, von Hagenbach 65.

Electricität der Sonne, über den Einfluss derselben auf den Barometerstand, von Hornstein 125.

Electrischer Versuch, von Strehlke 243.

Electrodynamometer, kugelförmiges, von Frölich 37.

Electromagnet, Ein Riesen-Electromagnet 53.

Electromagnetischer Rotationsapparat, von Krebs 373.

Emsmann, Collector für Reibungs-Electrisirmaschinen 63.

Digitized by Google

Federcontact von Beetz 317.
Fernrohr, Ueber eine neue Methode, die Vergrösserung und das Gesichtsfeld eines solchen zu bestimmen, von Waltenhofen 184.
Feuchtigkeitsgehalt der Luft, über die Bestimmung desselben von Regnault 1.
Frölich, Das kugelförmige Electrodynamometer 37.
Funkeninductor, ein solcher von grossen Dimensionen 49.
Gaiffe's Galvanische Batterie 243.
Galvanische Batterie von Gaiffe 243.
Galvanische Ströme, schwimmende, von Carl 49.
Galvanometer für absolutes magnetisches Maass, von Edelmann 80.
Galvanometer, von Mayer 133.
Galvanometer, von Bourbouze 242.
Galvanometer, von Carl 376.
Gefrierverzug beim Wasser, Apparat zur Demonstration desselben, von Krebs 194.
Gesichtsfeld des Fernrohres, Methode zur Bestimmung desselben, von Waltenhofen 184.
Gesichtsfeld der optischen Instrumente, neue Theorie desselben von Lubimoff 336.
Glastheilungen, Maschine zur Herstellung derselben, von Stanistreet 63.
Härteprüfung des magnetisirten Eisens, von Rollmann 375.
Hagenbach, Verschiedene Versuche über Reibungs-Electricität 65.
Handl, Ueber den Zustand gesättigter und übersättigter Lösungen 379.
Hinrichs's Schul-Laborator. f. Phys. 54.
Hornstein, Ueber den Einfluss der Electricität der Sonne auf den Barometerstand 125.
Hygrometer, Der Schwefelsäure-Hygrometer 320.
Kaiser, Beiträge zur Anwendung des Spectroscopes 380.
Kautschuk, Ueber die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in demselben, von Stefan 244.
Kork, Specifisches Gewicht desselben, von Rollmann 376.
Krebs, Apparat zur Demonstration eines Gefrierverzugs beim Wasser 194.
Krebs, Electromagnetischer Rotationsapparat 373.
Krumme, Apparat zur Demonstration der Wirkungsweise des Blitzableiters 48.
Kurz, Ueber die Nothwendigkeit, den zweiten Satz mechanischer Wärmetheorie zu popularisiren 161.
v. Lang, Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen 20.
Laternen-Galvanometer, von Mayer 133.
Lissajous's acustische Figuren, über einige Modificationen der gebräuchlichen Verfahrungsweisen für Beobachtung derselben, von Terquem 369.
Lommel, Zur Frage über die Wirkung des farbigen Lichtes auf die Assimilationsthätigkeit der Pflanzen 8.
Lubimoff, Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrösserung der optischen Instrumente 336.
Lucas & Cazin, Das Chronoscop für electrische Funken 325.
Magnetische Beobachtungen im adriatischen Golf, von Schellander 60.
Magnetische Declination und Horizontal-Intensität in Wien im Jahre 1869, 62.
Magnetischer Theodolith, von Meyerstein 197.
Magnetisches Universal-Instrument, von Wild 208.
Magnetometer für Schulzwecke, von Edelmann 351.
Maschine für Glastheilungen, von Stanistreet 63.
Mayer, Acustische Versuche 128.
Mayer, Ueber ein neues Laternen-Galvanometer 133.
Mayer, Mittheilung über Radau's Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones 191.
Meyerstein, Der magnetische Theodolith 197.
Mühry, Submariner Stromweiser für geringe Tiefen 119.
Noë's Thermosäule, über eine neue Form derselben, von Waltenhofen 189.

Digitized by Google

Obermayer, Ueber das thermoelectrische Verhalten einiger Metalle beim Schmelzen 244.

Objectiv von Steinheil, über dasselbe, von Seidel 173.

Ozon-Erzeugungs-Apparat, von Ruhmkorff 53.

Photometrische Untersuchungen, von Wolf 227.

Prettner's Verdunstungsmesser 383.

Radau, Bemerkungen über den Einfluss der Bewegung der Tonquelle auf die Höhe des Tones 46.

Regnault, Ueber die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft 1.

Regnault, Neues Weingeist-Thermometer 54.

Reibungselectricität, Verschiedene Versuche über dieselbe, von Hagenbach 65.

Reichert, Einfacher Thermoregulator 123.

Reversionsfernrohr, spectroscopisches, von Zöllner 330.

Riesen-Electromagnet 53.

De la Rive, Schwefelsäure-Hygrometer 320.

Rollmann, Härteprüfung des magnetisirten Eisens 375.

Rollmann, Specifisches Gewicht des Korkes 376.

Rotations-Apparat, electromagnetischer, von Krebs 373.

Rühmkorff's Ozon-Erzeugungs-Apparat 53.

Schallgeschwindigkeit im Kautschuk, Bestimmung derselben, von Stefan 244.

Schellander, Magnetische Beobachtungen im adriatischen Meere 60.

Schichtungen in schwingenden Flüssigkeiten, von Stefan 378.

Schön, Neuer Windrichtungs-Autograph 235.

Schreiber, Untersuchungen über die Theorie und Praxis des Wagebarometers 245.

Schul-Laboratorium für Physik 54.

Schwefelsäure-Hygrometer nach de la Rive und Withehouse 320.

Seidel, Ueber ein von Dr. Adolph Steinheil neuerlich construirtes Objectiv 172.

Sonne, Ueber den Einfluss der Electricität derselben auf den Barometerstand, von Hornstein 125.

Specifisches Gewicht des Korkes, von Rollmann 376.

Spectroskopisches Reversionsfernrohr, von Zöllner 330.

Spectroscop, Beiträge zur Anwendung desselben, von Kayser 380.

Spiegel-Galvanometer mit verstellbarem Dämpfer, von Edelmann 367.

Spiegelgalvanometer, von Carl 376.

Stabilitätsapparat, von Steinhauser 384.

Stanistreet, Maschine für Glastheilungen 63.

Stefan, Untersuchungen über die Wärmeleitung in Gasen 64, 138.

Stefan, Ueber den Einfluss der Wärme auf die Brechung des Lichtes in festen Körpern 97.

Stefan, Ueber die dynamische Theorie der Diffusion der Gase 126.

Stefan, Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Kautschuk 244.

Stefan, Ueber Schichtungen in schwingenden Flüssigkeiten 378.

Steinhauser's Stabilitätsapparat 384.

Steinheil's neues Objectiv, über dasselbe von Seidel 173.

Strehlke, Ein electrischer Versuch 243.

Ströme, Schwimmende galvanische Ströme, von Carl 49.

Stromweiser, submariner für geringe Tiefen, von Mühry 119.

Submariner Stromweiser für geringe Tiefen, von Mühry 119.

Terquem, Ein Versuch zum Beweise, dass die Electricität sich auf der Oberfläche der Körper aufhält 59.

Terquem, Ueber einige Modificationen der gebräuchlichen Verfahrungsweisen für Beobachtung der Lissajous'schen acustischen Figuren 369.

Theodolith, Magnetischer, von Meyerstein 197.

Digitized by Google

Thermoëlectrisches Verhalten einiger Metalle beim Schmelzen, von Obermayer 244.

Thermometer, Ueber Beschädigungen derselben durch den Transport 126.

Thermoregulator, von Reichert 123.

Thermosäule, von Noë, über eine neue Form derselben, von Waltenhofen 189.

Universal-Instrument, Magnetisches, von Wild 208.

Variationsinstrument für die Vertical-Intensität des Erdmagnetismus, von Wild 217.

Verdunstungsmesser, von Prettner 383.

Vergrösserung des Fernrohres. Methode zur Bestimmung desselben, von Waltenhofen 184.

Vergrösserung der optischen Instrumente, von Lubimoff 336.

Vertical-Intensität des Erdmagnetismus, über ein Variationsinstrument für dieselbe, von Wild 217.

Verticales Wagbalken-Galvanometer, von Bourbouze 242.

Wärme, Ueber den Einfluss derselben auf die Brechung des Lichtes in festen Körpern, von Stefan 97.

Wärmeleitung in Gasen, Untersuchungen darüber, von Stefan 64, 138.

Wagbalken-Galvanometer, von Bourbouze 242.

Wagebarometer, Untersuchungen über dasselbe, von Schreiber 245.

Waltenhofen, Ueber eine neue Methode, die Vergrösserung und das Gesichtsfeld eines Fernrohres zu bestimmen 184.

Waltenhofen, Ueber eine neue Form der Noë'schen Thermosäule 189.

Weingeist-Thermometer, von Regnault 54.

Wild, Ueber ein neues magnetisches Universal-Instrument 208.

Wild, Ueber ein neues Variationsinstrument für die Vertical-Intensität des Erdmagnetismus 217.

Windrichtungs-Autograph, von Schön 235.

Withehouse, Schwefelsäurehygrometer 320.

Wolf, Photometrische Untersuchungen 227.

Zöllner, Ueber das spectroscopische Reversionsfernrohr 330.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google